

萬 有 文 庫

第一集一千種

王 雲 五 主 編

河 工

馮 雄 著

商 務 印 書 館 發 行

工 河

著 雄 馮

書 叢 小 學 工

編主五雲王
庫文有萬
種千一集一第
工 河
著 雄 馮

路山寶海上
館書印務商 者刷印兼行發

埠各及海上
館書印務商 所行發

版初月十年九十國民華中

究必印翻權作著有書此

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

RIVER ENGINEERING

By

S. FENG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1930

All Rights Reserved

河工

目錄

第一章	河道之生成	一
第一節	水之循環	一
第二節	地面流水	二
第三節	地下水	五
第四節	河道流量	六
第五節	沖積地之生成	九
第二章	河中水流之定律	十一

第一節	計算水流之公式	十一
第二節	河道彎曲與水流之關係	十五
第三節	河道中障礙物與水流之關係	十九
第四節	兩水合流與水流之關係	二一
第三章	無潮河中之泥沙	一一一
第一節	河水移運物質之法	一一二
第二節	在水中浮游之泥沙	一二二
第三節	沿河底移動之泥沙	一二四
第四章	河道流量	一二一
第五章	預測洪水	一二五
第一節	預測洪水法之重要	一二五
第二節	憑雨量預測洪水法	一二五

第三節	憑流量預測洪水法	三八
第四節	憑水位預測洪水法	三九
第五節	憑水面漲起度預測洪水法	四〇
第六節	坦增德氏之預測洪水法	四一
第六章	整理河道法之分類	四二
第七章	整理河槽	四四
第一節	原理	四四
第二節	縱橫隄	四九
第三節	護岸	五五
第八章	化河爲渠	六二
第一節	總論	六二
第二節	壩	六三

第三節	船舶過壩之設備·····	八一
第四節	並行渠·····	八六
第五節	化河爲渠法之利弊·····	八六
第九章	浚渫及開鑿·····	八八
第一節	浚渫·····	八八
第二節	開鑿·····	九六
第十章	蓄水池·····	九八
第十一章	防水隄·····	一〇二
第十二章	防禦洪水·····	一〇六
第一節	總論·····	一〇六
第二節	沖刷區域之防禦洪水·····	一〇六
第三節	淤積區域之防禦洪水·····	一〇七

第四節	冲刷兼淤積區域之防禦洪水·····	一一二
第十三章	河道感潮部·····	一一四
第一節	潮水·····	一二四
第二節	河道感潮部之修治法·····	一二八
第十四章	河口·····	一三四
第一節	海波·····	一三四
第二節	改良河口法·····	一三九

河工

第一章 河道之生成

第一節 水之循環

水之循環 江河之水，其來何從，其去安往乎？無他，海洋而已。海洋之水，爲日所曬，蒸成雲氣，上升天空，受風之吹，騰至陸上，遇冷而凝，乃化雨雪，降於地面，遂分兩途。其一爲經行地面，流至江河，而以海洋爲歸宿。其一爲滲入土壤，伏流地下，歷時長短，隨遇而殊，穿地而出，成爲涌泉，終亦匯於海。

水陸之間，水之循環，大較如斯，但亦別有種種捷徑。水之蒸發，有見於水上者，亦有見於陸上者。水上蒸發，當夏季時，爲量之富，在河上足使流量爲之大減；在大湖上每令湖濱降雨獨多。陸上蒸發，

乃由於草木細根提取土壤含水之大部分，自葉面散入空氣中，於是地下流水之量，因而減少。

第二節 地面流水

地面流水 地面流水與土壤吸水，兩者分量之比，隨土壤之滲透性，地面草木之盛衰，地面傾斜之緩急，及降雨之疏密久暫等而異。

沙土較黏土吸水為多。岩石質地雖堅，然因常有罅隙裂縫，故能容水流過，石灰岩尤甚。在沙土上，同一疏密久暫之雨，當夏季時，可全被吸收，當冬末春初，則或散流而去，此因土壤凍結，不能吸水故也。

森林中落葉腐化，覆蔽地面，極能蓄水；多種草木之根，蔓延地下，大足以阻地水之流通，使其停於腐植物之內，與池沼之蓄水無殊。

地面傾斜之緩急，足以增減土壤吸水飽和之程度。山地較平原蓄水為少，因地面傾斜，則表面流水之速度，及地下流水之速度，俱隨之增加故也。

每一次降雨，若非疏微短促，總有一時降雨之速，超過土壤吸水之速，及地下流水之速，於是餘水不下滲，而在地面漫流矣。

水之侵蝕作用 密雨降在陡峻之山坡，流下之水，既多且急，洗刷地面極有力，不僅刷去泥土及雜草，且若受澗道之約束，則力足以移動大石或沖去成片之森林。山坡均經過此種侵蝕，逐漸消磨。每至冬季，岩石裂縫間之水結冰膨脹，岩石因之崩壞，自大化小，易於受水力推移矣。

水之移運沙石 從山上洗刷而下之沙石，為流水移運，如水之速度不變，則沙石隨行不息。但沿水道自山巔至海澨之間，地面傾斜之度，減小甚速。河道之初成，束流於山澗之中，速度最大。河道趨向下方，自窄澗逐漸放大為寬谷，傾斜亦緩，則流水夾帶泥沙之能力大減，遂不得不沿途棄置，先為大石塊，次之小石塊，復次石卵，復次粗沙。至於細沙及黏土，則常移運甚遠，因流水速度雖減，尙未至不能挾帶細沙之程度，須直至瀉入湖海時，始令沙泥沈澱也。

在奔流中，亦如在平水中，水道橫剖面各部分流水之速度，處處不同；故沙粒與石塊乃相混而沈澱。大石塊一經止息，則引起漩渦，使卵石粗沙在其周圍堆積；因之大石塊安置極牢固，欲其再行

移動，必須水勢加猛且歷時頗長，乃能致之。凡結構成層狀之岩石崩壞時，其碎塊或大或小，當其分裂之初，每上下交疊，有若鋪成，但使流水之方向，不改當初引起沈澱時之方向，則石面對於流水侵蝕之力，可大加阻抑；然如流水改其方向，而從石片之側面來侵，則鋪疊之組織，可被破壞。例如河中卵石積成之洲，可以耐受洪水之沖刷，經歷多年不壞。但如以此作基造壩，則在壩下滲流之水，或先將卵石中混雜之沙土洗去，容水通流。雖水流之速尚不及未受阻抑時，然因沖刷之方向已改，或竟使卵石分散焉。

細沙之生成 當崩壞之岩石在水中滾動時，互相衝擊而起磨礪作用，於是大石塊變為小石塊，小石塊變為卵石，分裂之石屑則成沙粒。離岩石崩裂入水之處愈遠，所得沙石愈細。因沙石沿河底移動時，其行不及流水之速，又因大風雨之時期甚暫，故河底沙石之下行，若斷若續，而在每次風雨中，其行程乃甚短。但在水中浮游之細沙土，因行速與流水相同，故繼續向下行，而少有間斷之沈澱也。

第二節 地下水

地下水之速度 水在地下滲流，除經過岩石罅隙時外，速度甚小，因土壤分子對之有阻力故也。其速度與源頭之高度成正比，而與摩阻力成反比，此與別種流水情狀，正屬相類。但尋常水力學之公式，卻不能施用於地下滲流之水，因由實驗得知，地下滲流之水，速度約與源頭高度成正比，而非如尋常公式所示與源頭高度之平方根成正比也。又地下滲流之水，速度極小，應以每日若干英尺計之，不能如水管中流水速度，以每秒鐘若干英尺計之。

地下水道 地下水道，亦復有河有湖，與地面水道相同，惟水行極緩。地下水道表面與地面相交之處，成爲泉源。泉水無論何時，俱使河中流量增加，而在旱時則爲河水之主要來源。如地下水道表面與河底相交，則地下水道源頭高度與河水源頭高度兩者相差之量，乃爲流量大小之所繫。設若河水源頭較高，河水將滲入地中，成爲伏流而不見，不僅地下水不能外洩已也。

地下水面 降水之量變化，地下水面隨之升降，與河水之漲落正相似。但因地下水行極緩，而

地層又極能蓄水，故待地下水而於地面顯其跡象，需時乃極長也。

地下水中之泥沙 在地下經歷長程滲流之水，所挾細泥極少；然若地下水之源頭高度，已逾其行程長度十分之一，則水力或竟能洗刷泥沙，挾之同行，凡欲在滲水地層上建築堤防壩堰等時，此點最宜注意。地下水可以含有溶解物質甚多，每因水分蒸發，遂析出而蓄積於土中。

第四節 河道流量

河道流量 當極乾旱時，河水之取給，以泉水為主，已如上述。在河水盛漲時，所增之水，乃以地面流水為來源。是以河水之漲落，隨降水滲入土壤及漫流地面兩者之比量而定，復受水道容量與蒸發量之影響而增減。湖泊有使河水之最大流量減小及使其最小流量增大之調節作用。如一地在夏秋間所降雨較在冬春間為豐富，則因有蒸發作用，而夏季最大之流量，將為之減小。如一年中雨水分配情形與此恰屬相反者，則蒸發作用將使最小流量減小也。

雨與河道流量之關係 任何地方之降雨量，月異而歲不同，且即取十年期間之降雨量，而計

其平均數，亦復不能有定。又在同一流域中，各地降雨之密度及分量並非一律也。

雪與河道流量之關係 雪降於地面，既不滲入地下，亦不立即在地面流散。雪當初積時，極輕鬆，受風所吹，乃成堆而加密實。若有微雨降於雪上，再遇極冷天氣，則雪面結冰而成不透水之硬殼矣。

雪受日光曬照，化水外洩甚緩，與泉水出山相似。然如忽遇溫雨和風，則雪層先吸水浸透，繼之驟然融解，下瀉之勢甚急。地面凍結，防止水之下滲，復有增加地面流水之作用。如在山地，先當初冬時，地面受雨水浸溼，結冰未化，繼之積雪甚厚，終至春季，遇有大雨，雪水一時融解，奔流而下，最足爲害。雖冬季結冰，地面流水之量減少，然一至春季，河中解凍，浮冰壅塞，反令河水盛漲也。

流域與河道流量之關係 凡流域甚大之河，其流量不僅受降水量變化之影響，且與地面流水盡行入河所需時間及地下水盡行入河所需時間有關。若在僅受一山之水之小河，其中水位漲至最高或落至最低，乃常見之事。若流域增加，由多數支流，匯成幹河，因支流之短而傾斜急者，漲落較速，長而平坦者，漲落較遲，故衆支流之漲落，難得同時，是以幹河之漲落，變化乃趨於和緩。地下

水表面之漲落情形，與此亦同。

河身蓄水作用與河流之關係 河身蓄水之作用，亦使河中最大流量減小而使最小流量增大，此因當水漲時，需多量之水以填充河身，當水落時，則蓄水下洩，於是漲落之時間增加，而最大或最小流量遂有變化。河愈長，流域愈大時，則發生極高或極低水位之機會愈少。因此之故，河流雖當水落之時，在其下游，猶能保有充分之速度，以沖刷其側岸，而在所沈澱之沙泥中，洗出與其流量相稱之河身也。

水之作用，削高陵，填低谷，經歷幾千萬年，而使河道經過山谷中，地面逐漸增高；又因河水所挾泥沙，多沈澱在河口，於是河道逐漸向海延長。在此時期中，移運泥沙之河水，即在沈澱之泥沙中，生成水道而維持之。水道上游，河身恒緩緩提高。而在離水源不遠之處，則有填充河道之力與洗刷河道之力，但兩者不能適保平衡。在某地當水位高至某點時，河身可以受洗刷而擴大，至別一點時，河身可以受填充而縮小。

如河身有數年盛漲時多，則高水位河身之容量可以增加；如有數年低淺時多，則容量可以減

小。但當恢復原狀時，雖各處有種種之變化，然以河道全體而言，則河身之原有容量，仍可再得。在此種情形中，從河岸與河口洩出泥沙之平均量，乃與其所受者相等也。

第五節 沖積地之生成

沖積地之生成 當河水落至極低時，水流遲緩，常不足以推動河底之沙石，僅有極細之泥土，得浮游水中，洩入河內而下流。當流量加大時，則河水移運沙石之能力急增，然所移運沙石之分量及性質，繫於降雨地方之土壤性質者多，而河水移運之能力之影響，猶在其次。例如從平原洩入河中之水，含細沙及黏土為多，浮游於水中，如從山坡瀉入河中之水，則含卵石及粗沙為多，大都沿河底轉滾而下也。

凡浮游在河水中，一同下行之細沙土，每逢河水之流速減小時，則起沈澱。河水流量增加，河濱低地，逐漸淹沒。因溢流之水，行速較正流遠遜，故所挾沙泥，遂起沈澱。在流速初減之處，沈澱最多，自此逐漸減少。水中挾帶泥沙之河，如此造成河岸，并有一特點，即在平水時，近河之地，反較離河遠之

地爲高也。在此種地域所降雨水，非直接瀉入河中，乃先分流於距河較遠之低地，蓄量既多，能在河岸沖刷成一水道，遂由此瀉入河中焉。

因沖積地之生成，歷歲總以千萬計，故常甚深厚，而河道經行其上，或竟有河底高於河外低地之現象。沖積地受水沖刷，如其流速較當初生成沖積地之河水爲大，則起坍削；如河水之流向變更，則河岸亦隨之移易，不僅河水盛漲時爲然，即在平水時或淺水時亦復如是。因之在沖積地之河道，如河岸崩潰，而決口深逾六英尺，則填塞之工，非易事也。

第二章 河中水流之定律

第一節 計算水流之公式

計算水流公式之缺點 關於水流之公式，有社濟 (Chezy) 氏公式，及從此演出之公式，如貝 (Bazin) 氏公式，芬寧 (Fanning) 氏公式，及卡忒 (Kutter) 氏公式等，均係周詳試驗之結果，公式所附係數，乃由實驗推算而得，對於解答水力學問題，極為便利。惟此種公式，既屬實驗公式性質，自亦有一切實驗公式同具之缺點，即使用公式時，如實地情形與實驗時情形不同，必須十分審慎是也。

公式中之水道粗糙係數 此種公式，當初均係從水管或水槽中流水情形研究而得，其時欲將一切阻止 v 與 r_s 相等之水流變化，盡包括在係數 c 一項之中。然旋即察得 c 值實依 r 及

s 兩值而變化，於是考驗 r 及 s 兩值變化時 c 值隨同變化之情形，製爲對照表，以備實用。又經實驗，察知水道包圍水流之表面，狀態如何，對於流量大有影響，例如以磚砌水槽與鐵造之光滑水槽相較，令其直徑相同，而磚槽流量則較鐵槽流量爲小。是以在公式中，必須變易係數 c 之值以應合水道表面粗糙情形對於流速所生之影響。

液體流過固體物質時，摩擦所生之阻力，爲量甚微，僅對於與固體接觸之液體薄層發生影響。在大管大槽中，此種摩擦阻力可以不計。水道表面粗糙情形對於流水之阻力，並非由於摩擦阻力，而實爲水之本身所起漩渦所致，因漩渦吸收一部分之能，若無漩渦，則此一部分之能，將消費於增加流速也。

變流水位

在水道中有兩項水位爲水流情形變化之樞紐，是爲變流水位。一爲流速減小至

不生漩渦時之最低水位，一爲流速增加至引起最大漩渦作用時之最高水位。此最高水位乃隨造成水道粗糙表面之物質分子形式而定。在最低水位以下及最高水位以上，則流水有依直線流行而不起漩渦之趨勢。試舉例以明之。設在岩石中開鑿一直渠，其側岸及底，俱留炸解時之原形，不加

修削。如渠道傾斜和緩，在流水之量不大時，水面將保持平靜，無大擾亂。如流量與流速增加，水勢漸亂而起漩渦。迨水位高至某點時，則漩渦作用為最著。在此水位以上，水面漩渦漸消失，終僅在附近渠岸及渠底一定距離以內，始有漩渦也。與此異者，為由沙土沈澱成爲沙波之水道。流量增加時，其先水面頗平靜，不即至不生漩渦之最低變流水位；迨流速增加至最大限時，水循沙波之表面方向而上騰，以至水面，遂起甚大漩渦矣。尤有進者，沙波之長度與寬度，對於其減小流速之作用頗有影響。當水落時沈澱之沙波，對於流水之阻力，較之當水漲時淤積者為小。

應用公式於河道中水流時之困難

常擬定諸尋常公式時，所行實驗，均限於尋常流水情形，

不出上述高低變流水位範圍。因此之故，欲於是項範圍以外應用公式，自當審慎行之。地下水之流行，至為遲緩，而其速度，據實驗所得，幾係與源頭高度成爲正比。在細管中流水情形，亦屬相同。黃銅水管，直徑不逾二英寸，而源頭不高者，曾經察得可應用 $v^{1.76} = c r^2$ 之公式。哈增 (Hazen) 及威廉斯 (Williams) 兩氏嘗擬定一公式，其中 s 之指數為一變量，與尋常公式不同，此在學理上實較正確也。

如欲取此類公式，應用於河道，如卡忒氏所行實驗，則困難之點滋多。按擬定公式時，係據水管或水槽之流水情形。此種水管或水槽，既具整齊之動水半徑，又具整齊之傾斜度。河道則與之不同，河道中任何兩處橫剖面，從無面積相等者，即一橫剖面之面積亦復日月有變遷；尤有進者，河道之傾斜度，變化極劇，不僅在一暗洲上較在潭中爲急，且在同一水潭處對面之傾斜度，亦復常有殊異。終則係數。隨處殊異，在石卵積成之暗洲上，較在潭中爲小也。

故當應用一公式時，須考察長段之河身，求得平均動水半徑及平均傾斜度。設有一短段河道，偶得整齊之橫剖面及傾斜度，然入此段時流水之速度，乃足以影響於此段中之流水速度，蓋推水向前之力，不僅生於本段兩端水面高低之差，且隨本段上游之傾斜度而變化。又強風吹於河面，能增減流速，故對於流量，亦有影響。在河口處，因河口成漏斗之故，潮流能有足量之力以驅河水逆流而上；潮流引鹹水入河，則水流之情形更加複雜，其變化非藉數學所能分析者矣。

是以研究河流問題時，定一公式中之各種事項，誠以藉實地測量最爲相宜。如不能辦到時，則當採用充分之安全係數，勿忘多種數學計算僅適用於平均情形；若研究河水大漲時或甚淺時之

狀況，則爲罕見之現象而非尋常之現象，是當明辨者也。

水在管中流行，其速度視源頭高度而異。水在河中流行，推定其速度時，則必計及水之動力。當水在管中驟然受阻止時，因水無分散之路，故僅對於管面之壓力增加。但水在河中受阻時，則來水之力使受阻部分之水面提高。急流向河岸直衝時，近岸處之傾斜度，或竟反其方向，卽以此故也。

河口之海潮漲起時，所具力量，常遠勝河水下流之力，因之逼河口水面升高，超過海中水面。反之，當退潮時，因潮水去勢亦猛，每使河口水面降低，落於海中水面之下也。

第二節 河道彎曲與水流之關係

直水道中水流情形 河道之彎曲，對於水流情形，大有影響，故宜詳細研究。考在鋪砌而成之直水道，水之分子，依直線而流，僅與水道底部接觸者爲不然，因受底部粗糙表面之擾亂故也。最大流速線存於通過最深剖面之垂直面上，在此垂直面上各點流速之變化，乃與頂點近水面之一拋物線之弧相符。從最大速度面至水道兩側間各點之速度，亦依一與此相似之曲線而變化。在水道

之橫剖面中，水面成橫平之線。如流量整齊，則表面之縱向傾斜度，將與水道之形狀相符合也。

彎曲水道中水流情形 如在水道中添一圓彎，則整齊之水流，爲其擾亂。中流之縱向傾斜度，依舊不變。但水之慣性，阻其變化之方向，於是在水道彎曲處凹側之水面提高，而在凸側之水面降低；此即生有橫向傾斜度，使水面之橫剖面，成一曲線，其兩側高低懸殊。對於橫剖面爲梯形之水道，哥金加 (Gorkinga) 氏曾演出下列公式，以定其水面之形式。其公式爲：

$$y = 0.235v^2 \log(1 + x/r)$$

式中 v 爲縱向流速，以每秒鐘若干公尺計； r 爲水道中軸之弧度半徑，以公尺計；而 x 及 y 爲水面上某一點對於一副縱橫軸之距離，以公尺計；其縱橫軸係穿過水道與水面之軸之交點者。設有梯形水道，寬二〇〇公尺，弧度半徑爲五〇〇公尺，深度適令〇・〇〇〇一之縱向傾斜度引起每秒鐘一公尺之流速，則水道兩岸水面高低之差有四公分，即橫向傾斜度約爲縱向傾斜度之兩倍也。

上述學理的計算，曾藉在美國密士失必河上之觀察而得實證。按此河在彎曲處兩岸水面之差，有至一英尺者，其平均中流縱向傾斜度約爲每英里〇・四英尺。在此種情形中，最大速度線，不

復存於中流之剖面上，乃移近凹岸矣。

水之螺旋形徑路 設有表面高低不同之水兩器，而以管通連之，則水自表面高者流入表面低者，直待兩器表面齊平始止。水在管中流行之速度，隨兩器高度之差而異。在湖中往往因風吹之故，各處水面高處相差，則亦起有恢復原來平面之趨勢；但因風力逼湖面之水流方向，與風之方向相同，故回流乃沿湖底而行。回流至湖水表面最低處，上升至水面，故水分子之行程，乃成曲線之式也。

河道中因彎曲而起之離心力，其作用與此相似，惟因河道傾斜，水向下流，故其徑路更較湖水為複雜，乃依螺旋式之徑路而前進。水向下流之運動固受阻，但在螺旋外圍之水，所具速度乃遠較僅有縱向傾斜度之直水道中之水流為大也。

螺旋形之大小乃隨河身之縱向傾斜度及彎曲處之弧度半徑而異。僅在河身保持自然狀況未受擾亂時，其中流水之螺旋形徑路能與河身之橫剖面相適合。在螺旋形徑路之範圍以外，則紀有漩渦，亦阻礙河水之下流。

勒力甫斯啓 (Leliasvski) 氏根據實驗，發表關於河道彎曲處水流循螺旋形徑路之學說。彼謂在彎曲處表面水流先向凹岸攢聚，次沿此行向河底，復次向凸岸分散，終漸騰至河面。勒氏察知此種水流，不僅足以洗刷泥沙或卵石積成之河岸，使之坍削，且有能侵蝕石岸者。在表面水流向凹面攢聚最密之處，其水最深；如河道彎曲處弧度半徑一律，則此點乃在彎曲處中點下方不遠也。

彎曲段對於上下直段之影響 河道彎曲，對於上下游直段之水流，亦有影響。在彎曲段下游，當然須經過頗長之距離，乃能自螺旋線運動復歸於直線運動，因運動之改易，乃與水分子之慣性及摩擦阻力有關也。在彎曲段上游，因水面不能驟然從平面變為斜面，必須漸漸改易，故亦有相似之影響，是以螺旋線起自離彎曲段上端頗遠之處，至水面橫向傾斜度與河道之彎度半徑相適合時，其速度為最大。自此以後，保持不變，直至彎曲段之末端為止。過此以後，乃漸漸減小。水流中最大速度之徑路，與河道之中軸相離，其情形悉與此相當。在彎曲及上下直段中，水流之縱向速度，均受牽掣也。

最大速度徑路之重要 在鋪砌而成之水道中，最大速度徑路之地位，固無大關係；然在河道

中則不然。因速度最大處，洗刷力最大，而沈澱最少，乃爲河道中最便通航之線路，而河道之整理，實即以安置最大速度線於適當地位而保持之爲目的者也。

第三節 河道中障礙物與水流之關係

尙有一事，極應詳細研究，即河道中障礙物對於水流之影響是也。

單橫隄與水流之關係 設有河道，徑路成直線，而河槽堅實，不起傾坍。如在其中造一橫隄，露出水面，與河之一岸相接而成垂直，則因河道橫剖面減小之故，將使水面提高，減小上游之傾斜度，而加大下游之傾斜度。水面係沿河道橫剖面之全部提高，但在堤之上游，河岸與堤相接一邊，提高最多，因縱向速度在此處被阻礙最多之故；而在對邊則提高最少。因兩處水面高低不同之故，水趨向低處，而最大速度線遂不依未受阻礙時之直線，而成爲彎曲矣。在堤上某一距離處，因水流被阻之影響，使河道之兩岸水面，高低相差，於是發生螺旋線運動，與在河道彎曲處相似。但在堤下則情形驟然與前相反。水至堤後，已失其縱向速度，而欲沈至較原來爲低之平面以下。繞流過堤之水

之一部分，似欲填此缺陷，但因其過堤時之縱向速度頗高，故生成極複雜之漩渦，此漩渦之運動，大部分係依直立之軸成盤香形而迴旋。依歐洲來因河之實驗，盤香形運動之侵蝕河岸，係在堤下距離等於堤長兩倍半之處。漩渦之別一部分運動，係似螺旋形之運動，斜向對岸而行，亦使縱向速度損失若干以引起漩渦作用也。

雙橫隄與水流之關係 如在河道中同一橫剖面處之對岸，更造一相似之橫隄，則兩隄間之水面乃成弧面形，在隄端最高，在中流最低。最大速度線自上流處河道中軸分成兩線而抵兩隄末端，以後復漸收縮而回至中軸。在兩隄下生強大之漩渦，但其餘之水流較之僅有一處橫隄之水流，徑路卻較直也。

斜隄與水流之關係 在隄之上方亦有漩渦作用，惟其性質及範圍，則隨此隄對於水流方向之傾斜多少而異。如此隄斜向下游甚著，則其作用與河道之彎曲相似，沿其面上有冲刷之趨勢。如此隄斜向上游甚著，則此趨勢減少。

暗隄與水流之關係 如所造之隄淹沒在水下，則有使水面過隄時漲高之趨勢。此處水流之

情形極爲複雜，而對於緊接隄下之處發生極強之沖刷作用，並與在隄端之漩渦作用相混也。

第四節 兩水合流與水流之關係

由支河來之水，常與幹河之水並流而不即相混，直至河道彎曲或遇障礙，水流之整齊被擾亂，乃行合流也。

在河道入海處，常因淡水與鹹水之密度不同，引起極複雜之水流。海潮內流，其比重較河水爲大。在漲潮之某時期中，鹹水沿河底上流，淡水則浮於其上而外流。因河底之不整齊，故有處可有向內之表面水流，而別處可有向外之表面水流，直至流水之慣性已失，而鹹水與淡水有相混和之機會時始止也。

第三章 無潮河中之泥沙

第一節 河水移運物質之法

河水移運物質之法 物質被河水移運，凡分三途，即在水中溶解，在水中浮游，及在水底滾動是也。

物質一經被水溶解，流入河中，不復析出；此種物質與河道之狀態無關，可不深論。

第二節 在水中浮游之泥沙

在水中浮游之泥沙 流過沖積地域之河，水中常含有多量浮游物質，及少量溶解物質。其浮游物質分量之增減，大概繫於水源地土壤之性質，及雨量之密度，亦受時季及土壤有無結冰情形

等之影響。凡流域各處土質大體相同，而成分以黏土爲主者，當河水流量的增加時，所含浮游物質之量，隨以大增。

沈積泥沙之再分解 浮游在水中之泥沙，一經沈積時，如再受水侵蝕，僅有小部分復行分解而浮游在河水中。原先沈澱之泥沙，含水頗多，傾斜度和緩；當再有泥沙沈澱時，則漸密實，而能保有較急之傾斜度。如遇河水低落，使沈澱泥沙露在水上，濾去其水，則因所含黏土富有凝聚力，可令泥沙側邊，保持直立之傾斜度。沖積地域河流彎曲處凹岸在低水位上之能直立不坍，卽此故也。沈澱泥沙，在水面下，含水多，凝聚力小。當受水沖刷時，河身加深，而河岸在水面下之傾斜度加大，故使上部泥沙成大塊滑動而崩墜於河中。河水既不能使之分散而浮游，則惟有令其沿河底滾動而下也。

河道傾斜度與含沙量之關係 河道在水落時之傾斜度，與河水所含泥沙分量，兩者之間，復有一種關係；卽泥沙之量愈多，則河道傾斜度愈急是也。在兩河合流之處，此象尤著。如幹河之水較清，則在與濁水合流之處以上，其河道傾斜度，不及濁水之大，過合流之處後乃見增加。如幹河濁而支河清，則在合流處以下之傾斜度，較合流處以上爲小，而頗與支流相近也。

河道在支流口改變傾斜度之現象，可試爲解釋如次。設幹河水濁而支河水清。因幹河與支河之漲落，難得同時，總有一時支河盛漲，瀉入幹河，便有攔阻幹河水流之勢，使幹河在合流處以上之流速減小，而令其中浮游之泥沙沈澱，於是河槽減小，傾斜度加大；在合流處以下，則因水量增加，河槽加大，傾斜度減小。當支河流量落至常度時，幹河在合流處以上；流速復原而增大，所沈澱之泥沙被沖刷，但不隨流水浮游，乃緩緩沿河底滾動，成沙波而下行。此項沖刷之泥沙，亦有沈積在合流處下方擴大河槽中之趨勢，但在沈積妥貼以前，支河中已再見水漲而復有一次變化矣。

如幹河水清而支河水濁，則支河水漲時，流入合流處以下擴大之河槽，因速度減小之故，使所挾泥沙沈澱，而傾斜度加大。當支河水落時，幹河沖刷合流處以下淤積泥沙之工作增加，但在沖刷完畢以前，支河中見第二次之漲水，而合流處以下又起沈澱矣。

第三節 沿河底移動之泥沙

沙波 河工中最困難之問題，即爲沿河底移動之泥沙。在直段河道中，成爲沙波而下行；沙波

之狀態隨流速及水深而變化。在水流驟然增加時，沙波最大；此際河底受沖刷極劇。反是，逢水流驟然減小之際，因沈澱最盛，故泥沙之移動最微。

河底沙波之下移，乃不整齊之運動。其高度、長度及行動之速度，隨所在之地位及與水流最大速度線之關係而異。當河中水位最高且近於安定時，沙波最大而行動最速。當水落時，則沙波最小而行動最緩。沙波之下行，乃由其後方之泥沙被推移向前，踰波頂而落下，即遺留於此；待沙波後方全行前移，則此處泥沙復被沖刷下行。沙波如此逐漸前進。當河中水位最高時，移動泥沙之量最大。沙波形狀之變化，乃逐漸進行，當河水流速近於不變時，則沙波之形狀亦不變。如流速忽然減小時，因浮游之泥沙沈澱，沙波為所掩覆而消失。如流速能保持不變，則沙波復行出現焉。

河道彎曲段之沙波 在河道彎曲處，起有盤香形水流，影響及於沙波之運動，而每一漩渦亦略令沙波之形狀改變。彎曲處之最大流速線，離河道之中軸而折近凹岸，沖刷岸邊，復因縱向傾斜度及橫向傾斜度，沖刷之作用更著。其從河岸沖刷之泥沙，及沙波移運之泥沙，所行徑路，不與在河道直段中相同，乃斜跨河道而行。泥沙運至下流，復起沈澱而成沙洲，其與原來發生沖刷處之距離，

隨河道原有傾斜度及彎曲段之彎度半徑等而異其長短。彎曲段之凸岸，常如此漲成。但當河道之徑路改變成直線或反向之曲線時，則盤香形水流之速度漸減，力不足以移運泥沙，越過河槽，遂令泥沙沈澱在河槽中，成一斜向之沙洲，洲頂之長度，遠逾河槽之寬度。如此即行造成一壩，使河道之傾斜度及流速在上游者減小，而在下游者增加。此項作用繼續不斷，直待沙洲上游水潭中流速減弱不足以起沖刷時始止，或運至洲上之泥沙及越過洲上之泥沙兩者分量保持均衡時始止。在水位方漲之河中，因洲頂提高及潭中流速減小，遂有此均衡趨勢。當水位方落時，因在洲面沖刷水槽，令洲面流速增加，亦得此種均衡現象。

河道直段之沙波

直段河道中沙波之運動頗緩，當河流平均速度約為每秒六英尺時，沙波

移動之速度平均為每日四十英尺；然沙洲中沙粒之移動，則遠較此為速，而洲頂亦隨水位之上升而增高甚速。美國密士失必河有數處沙洲之漲高，速度等於水位上升速度之半。歐洲倫（Rhône）河中沙洲之漲高速度，有等於水位上升速度五分之一者。當水落時，沙洲亦被沖刷而降低。但同一河中各處沙洲之加高或減低，速度差異甚大，不僅隨流速及河身彎度半徑而異，亦視所生漩渦情

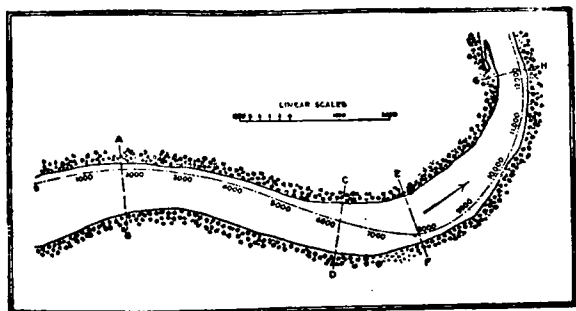
形及泥沙之性質與泥沙在洲上分布之狀況等爲變化。在未經整理之河中，沙洲上水道之地位，在水漲時與水落時，常不相同。

河道彎曲段之橫剖面

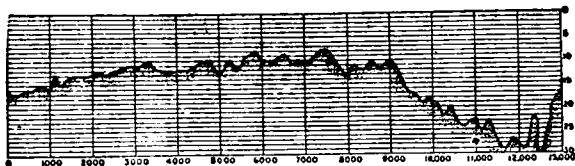
河道在彎曲處，最大流速線折向凹岸方面，故令河道之橫剖面成爲三角形，其凹岸之傾斜度乃隨彎度半徑及河岸土質而異。如逢易受沖刷之土質，落入河中之泥沙非盤香形水流所能盡行移運；於是岸脚之深度減小，而傾斜度和緩。如土質加粗，則傾斜度較急。若爲石岸，可成垂直。在沙洲上，河道橫剖面有成爲梯形之趨勢，至水落時在沙洲上刷成水道時始止。

河道彎曲段之彎度半徑

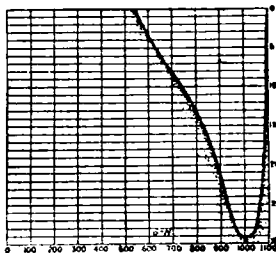
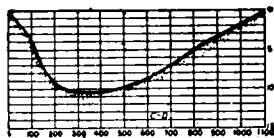
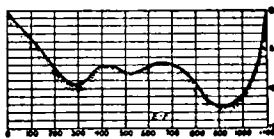
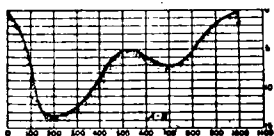
河道彎曲段之彎度半徑，大概繫於河岸之土質，然亦隨河中流量及傾斜度爲衡。在沖積地域中，流量愈大而傾斜度愈緩，則彎度半徑愈長，但頗視河岸情形爲伸縮。河水降落時，因流量減少甚多，故有令彎度半徑縮短之趨勢。此種趨勢對河流狀態爲有害，使最大速度線之地位變化而令河道之彎曲時時改易。在水落時被沖刷之處，當水漲時，或至淤積。逢水漲時，每因流量過大之故，不能循行水落時刷成之小彎曲水道以逐漸擴大彎度半徑，遂有大部分水流依曲線之弦而行，另行造成一段河道；而在與原彎曲段合流之處，因發生漩渦作用，遂令泥



平面圖



縱剖面圖



橫剖面圖

圖中長度及深度俱以英尺計
第一圖 河道深度與彎曲度之關係

沙沈澱。但漩渦激射河岸之處，則洗刷甚劇也。

因造隄而生之沈澱 造隄伸出河中時，因河底傾斜度改易之故，河中沙波之形式及分布狀態亦起變化。在減水之河槽，傾斜度增加，遂沖刷成較深之河槽，沖刷作用在隄之末端處為尤甚。水在隄下起漩渦，泥沙沈澱在漩渦之底。漩渦之沖刷作用，愈在外方愈減，遂使自隄之末端至相連河岸間，生成水道。另有一水道亦起於隄之末端，而斜伸至對面河岸，乃由於循此方向之盤香狀水流所致。當此種水流遇阻力時，則生成一暗沙洲，洲之頂成曲線形，包圍上述兩處水道，係視河水落時，水在暗沙洲上之沖刷作用而定。沖刷之方向或在對岸，或在本岸，俱隨暗沙洲性質變化。在隄上方，亦有泥沙沈澱，半由漩渦作用所致，半由流速減小令浮游物質沈澱所致。如隄之方向與水流之方向相交成銳角，則沿隄面生一狹窄之水道，亦出於漩渦之作用。如隄之方向斜向下游，則沿隄面有顯著之沖刷也。

河水深度 在沖積地域之河流，潭中水深隨河水流量而異，而洲上水深隨河槽傾斜度而異。河槽之傾斜度不變時，河水流量增加，則潭中水深增加。河水流量不變時，河槽傾斜度減小，則洲上

水深增加。河工

第四章 河道流量

河道流量之公式 河道中水面高度與流量之關係，可用曲線表示。曲線之方程式如下。

$$Q = cd \frac{2m+1}{2} \sqrt{s} \dots\dots\dots (甲)$$

式中 Q 爲流量， c 爲一常數， s 爲水面傾斜度， d 爲水之最大深度，而 m 爲隨水道形狀變化之一指數。如水道之兩岸成直立， m 爲一；如兩岸成向內凹進之弧形， m 在一與二之間；如兩岸傾斜成三角形， m 爲二；如兩岸成向外凸起之弧形，則 m 大於二。

如水面傾斜度不隨漲落而異，則方程式(甲)可化爲下式：

$$Q = c'd \frac{2m+1}{2} \dots\dots\dots (乙)$$

此式所表示者爲拋物線。 d 之指數隨水道形狀而異。此曲線常用以表示河中水面高度與流量之

關係，然因實地情形非如此曲線所表示者之簡單，故結果難得正確。

河道傾斜度變化之影響 當河水漲落時，其傾斜度非不變者，在水漲時較在水落時為大。故表示水面高度與流量關係之曲線，不為(乙)式之拋物線而為(甲)式之複雜曲線。如水面高度與傾斜度間，有固定不變之關係，則(甲)式之曲線，分歧為二，其一表示水漲時之情形，其一表示水落時之情形。然因傾斜度不僅隨水面之實在漲落而變化，且隨水面漲落之速度而變化，水面漲落之速度無定，故在水面高度與傾斜度間，乃無固定不變之關係；是以(甲)式之曲線不過表示在水面高至某定度時，流量變化之範圍而已。流量之確實數值，則隨水面漲落之速度而定也。

河道橫剖面變化之影響 不僅河中水面傾斜度永遠改易，即河道橫剖面之面積，亦隨沙波之移行或河底之升降而變化不息，此種變化無定律可尋，故不可以水面升降之度測之。是以表示流量之曲線，不作拋物線形狀，但卷曲在曲線所包括面積中也。

平均流量曲線 如測定流量，不計水漲與水落之情形，而取其平均數，則測定多次流量，可得一平均流量曲線也。

應用流量曲線時發生之差誤 如測定流量之次數不多，淺水之流量係水漲時所測，而深水之流量係水落時所測，則所得平均流量曲線爲一種形式。若淺水之流量爲水漲時所測，而深水之流量爲水漲時所測，則所得平均流量曲線爲別一形式。設若將此種曲線延長出於實在觀測之範圍，則結果之差誤頗多，尤以依直線延長者爲甚，但如此行之者，極爲常見也。

有當特別注意者，卽測定流速時，平常祇以水面與河岸齊平時爲限；故無論其測定之如何精密，切不可取所得之平均流量曲線延長，以推求未經實測之洪水流量。當河水漲至岸上時，如無隄防以阻之，則流速有劇烈變化，對於其平均流量曲線之形式，大有影響也。

支流對於幹河流量之影響 在測定流量站下方，如有支流與幹河相會，亦使河中水面傾斜度改易。如流量之測定，係在支流之突然漲落時行之，尤足令流量曲線發生擾亂也。

河身之蓄水作用 河中水面傾斜度之變化，繫於水面漲落之速度者，較其繫於水面之漲落者爲密切，其故在河身有蓄水之效用。何以言之？當水漲時，流水之一部分，填充增大之河身；是以在下游所測得之最大流量，乃較在上游所測得者爲小，其減少之量，卽填充河身所需也。當水落時，如

此積蓄之水，須行放洩，故在下游所測得之流量，因之增加。是以河水漲落所需之時間，對於上下兩測站間水面高度相差之數，乃大有影響。如水之漲起緩，則其傾斜度較之漲起速者，自較和緩矣。

支流之水，流入幹河，亦有填充河身之效用，故對於在合流處下游之傾斜度及流量亦生影響。如第一次水面升漲，急繼之以第二次之水面升漲，則因宣洩延遲之故，遂使第二次之水面升漲追及第一次之水面升漲，而使流量增加矣。

洪水波之速度 河道中洪水波下行之速度，隨水面高度及傾斜度與水漫地域之面積而異。大概水面高度小者其行速，傾斜度小者亦然，而河岸潰決致大片地域受水淹沒者，則洪水之下傳遂緩矣。

第五章 預測洪水

第一節 預測洪水法之重要

預測洪水法之重要，瀕河之地，遇洪水氾濫，則居人有生命財產之損失，故預測洪水來時水面之高度，乃為防水所必需，固不僅有利於航業及農業之經營而已。然預測洪水面高度，為事之難，在河工中，實當首屈一指也。

第二節 憑雨量預測洪水法

憑雨量預測洪水，預測洪水面高度，多為量定流域各處雨量，由此計算河水流流量。然此法困難之點滋多，故成效殊小耳。

雨量之差異 雨量既隨地而差異甚多，則首須設立多數之雨量站，始能得流域中雨量分布之詳情。蓋山巔之降雨，與谷中不同；森林之降雨，與曠野不同；城中之降雨，與郊外不同；甚至設雨量計一具於屋頂，又設一具於鄰近街道中，兩具測得結果，又大不相同。若僅於流域中數大城市測定雨量，所得雨量分布情形之觀念，乃甚不完全，瞭然可見矣。

推算流量之困難 推算流量，困難亦多。就流域中行地質調查，固可得各地土壤透水之情形。然此種情形，實乃常時變化。如繼乾旱以後，所降之雨，可全為土壤所吸收；反是，在土壤已經潤溼之後，再有雨水降下，則大部分將由地面流去，而不滲入土內。如春耕以後，田土虛鬆，其吸水之能力，遠勝於秋收時密實之田土。降雨之後，如天有陰雲，則地面蒸發之水少；如日烈風強，則地面蒸發之水多。凡此皆足以影響於入河水量之多寡也。

由雨量係數推算入河水量 學者曾有將一年中諸月之雨量，分別乘以係數，以求入河水量者。其意即在計及種種雨量變化對於入河水量所生之影響。例如騰 (Von Tein) 氏研究德國境內之美因 (Main) 河，估計在一月中雨量有五五%流過地面，二月中有五五%，三月中有六八%，

四月中有四五%，五月中有三三%，六月中有二一%，七月中有三一%，八月中有二五%，九月中有二七%，十月中有二〇%，十一月中有三〇%，十二月中有三三%。蒸發量自四〇%至五五%，植物吸水量自〇%至二八%，而土壤吸水量自〇%至四〇%。騰氏用此種係數以估計各時季中造成洪水所需之雨量。但此種係數對於預測洪水面高度，則無大用處也。

地形與流量之關係 水由地面流入河中，隨處緩急不同。如由山坡瀉下者，流勢極急；由低窪之地放洩者，流勢極緩。故欲將流域中各處同時流入河中之水量，分別其來源地點，而判定其比量之多寡，實為極繁難之問題。彼柏克力稷革勒 (Burkli-Niegler) 氏公式，及相類之公式，均係從一流域中之平均情形推求而得，用以計算洩水管及污水管之尺度，頗為便利。但生成洪水時之情形，則與尋常大異；故預測洪水時，欲求結果之有價值，自必注意於平均情形及特別情形之分別矣。

本法之費用 從上述之法，以求洪水面高度之確數，固不可能，然藉之亦可知洪水之將臨，為益亦非淺鮮，且預測洪水之有無，原無需十分精確之計算也。在流域中地勢高峻土質不透水之處，設立雨量計數具，藉此亦足以推見洪水之將至。然若將所得雨量記載，與地勢平和土壤虛鬆透水

處之雨量記載相合觀之，或反不能得洪水來臨之兆耳。法國之亞爾德世 (Andrèche) 境內，用此法預測洪水，遇山地雨量在四八小時內逾二五〇公釐時，即發警報也。

第二節 憑流量預測洪水法

憑流量預測洪水法 預測洪水面高度之第二法，係測定幹河中某站之流量及諸支流中衆測站之流量，從此計算在下游之流量。在德國易北 (Elbe) 河，曾採用之。此法避免從雨量推算流量之煩難。其事係先在各測站測定多次流量，分別繪製平均流量曲線。次從各平均流量曲線上，計算在下游處之幹河及支流之總計流量，而取其達最大限時之數值。復次從幹河之流量曲線，以定洪水面高度，可也。但因幹河及支流俱有蓄水作用，故應在何時作計算，殊難決定；計算所得之流量，與實測之最大流量，每不符合，即以此故。易北河之洪水，乃由三處支流轉來，此諸支流有同時傳送其最大流量於幹河之趨勢；是以此河上預測洪水時所作之計算，乃遠較別處河流爲簡單也。

第四節 憑水位預測洪水法

憑水位預測洪水之法 預測洪水面高度之第三法，係以幹河水面高度與支流水面高度之關係為根據。此法通用於歐洲之來因河，係先設想幹河未有支流，而決定其中洪水波下行之情形；次將支流所生之影響并入計之，即得所求之洪水面高度。假定幹河未有支流，則在上下兩測站處水面高度之關係，可以 $h_2 = ah_1 + b$ 之公式表示之，式中 h 為在某限度內之水面高度，而 a 及 b 俱為常數。

騰氏所定，在窩爾得沙特 (Waldshut) 及馬克騷 (Maxau) 兩地間所用之方程式如次。

$$h_2 = 1.01h_1 + 1.28 \quad 1.72 < h_1 < 3.73$$

$$h_2 = 0.89h_1 + 1.72 \quad 3.73 < h_1 < 4.84$$

$$h_2 = 1.27h_1 - 0.11 \quad 4.84 < h_1 < 6.30$$

式中 h_2 為在馬克騷處之洪水面高度；而 h_1 為在窩爾得沙特處之洪水面高度。支流對於幹河

之影響，亦有相似之方程式表示之。由此求得之來因河洪水水面高度，與實測所得者，據云相差不逾二十公分。

來因河因發源於阿爾卑斯山，而中游有君士坦司 (Constance) 湖之調節，故發生洪水之時，其下游支流之流量，常可以甚微。是以其幹河之洪水波，較易決定；非若甚長之河，支流紛歧，漲落各殊，對於幹河水面生複雜之影響者可比。後者有如美國之密士失必河，若用此法求其洪水水面高度，則難得滿意之結果。在來因河上，流量測站間距離平均不及二十公里；在密士失必河上，流量測站間距離，平均常逾一百英里。來因河之主要支流，瀉入幹河，其間距離不出一百五十公里；在俄亥俄河，預測洪水，則須取自三百至一千五百英里長之段落。是以在來因河上測站間二十公分之誤差，若移於俄亥俄河自辛辛那提 (Cincinnati) 至開羅 (Cairo) 間之一段，則將有十英尺或二十英尺之多矣。

第五節 憑水面漲起度預測洪水法

憑水面漲起度預測洪水法 在法國森 (Seine) 河上，柏爾革藍 (Belgrand) 氏之預測洪水面高度，則藉水面漲起度而求之。柏氏就森河支流之上游不透水之地，擇定流量測站八處；視八處水尺之記載，足以代表全流域之水勢，而求出一表示支流漲水與幹河漲水間關係之定律。柏氏察知在普通洪水時，幹河中水面漲起度為八測站水面漲起度平均數之二倍；如當第一次洪水方落時，有第二次洪水繼之，則非二倍而為一·五五倍。將施行預測處之原來水面高度，加以推得之水面漲起度，即得所求洪水面高度。柏氏依此法能於洪水到巴黎前之三日，預測洪水面高度，與後來實測相差，不逾四十公分。施行預測處之水面高度，係從當時原有之水面高度起始計算，故對於水面高度由水面傾斜度所起之差異，業已計及，而可避免誤差不少也。騰氏對於水面傾斜度引起之誤差，係依水面高低之別，立數種方程式以為之制限；然當在窩爾德沙特處水面高三·七三及四·八四公尺時之不應有急遽變化，如其方程式所示，固顯然可見也。

第六節 坦贈德氏之預測洪水法

坦增德氏之預測洪水法

美國坦增德

(Townsend) 氏合併柏爾革藍氏及騰氏之方法，以

預測密士失必河與俄亥俄河在開羅 (Cairo) 及他處之洪水面高度，結果頗佳；能於洪水波頂點未到之前兩星期，即已測知其高度，以便施行保護隄岸之工作。

其法不用假定支流無水流時幹河中之水面高度，但假定當起點處水面高至某限度時，幹河各處水面之平均高度。後將因傾斜度之變化及支流之漲落對於此種水面高度所生之影響算出。即可憑之以測洪水之高度矣。惟所據之河水漲落記載，至少須有十年，如能得二十年，則尤佳也。

第六章 整理河道法之分類

整理河道以便通航，其法甚多，大別之爲五種。

- (一) 整理河槽法 用束流設備，令暗洲上之低水河槽加深。
- (二) 化河爲渠法 在河中造壩若干道，設閘以容船舶升降。
- (三) 浚渫法及開鑿法 除去河中泥沙及阻礙物。
- (四) 蓄水法 當河中水位高時蓄水於池，當河中水位低時洩之。
- (五) 造防水隄法 限制洪水量，利用之以擴大河道之低水位橫剖面。

以下第七章至第十一章分論之。

第七章 整理河槽

第一節 原理

平行縱隄 整理河道，以利通航，第一步不外於河中有暗沙洲礙流之處，在河之一側，造縱隄一道，於對岸更造縱隄一道，以約束水流。兩隄間距離，依尋常水力學公式計算得之。如此則在其處河底原有之傾斜度上，當低水流量時，可有所需深度也。

如河中僅行帆船，當低水位時，在河中卵石暗洲上水之深度，有三英尺已足者，此種用平行隄整理河槽之法，頗有效驗。且河水沖刷河底，往往其勢甚劇，過於所預期。暗沙洲上方水潭降低，而由暗沙洲面洗去之沙泥，乃沈積於其下方，以成新暗沙洲。如將兩隄延長，包括此新暗沙洲，則在其間河槽之傾斜度，變為較和緩，而在暗沙洲上過度沖刷之勢，較前減小。暗沙洲上方水潭之稍稍降低，

對於暗沙洲上部之傾斜度，尙無大影響。

如河中駛行汽船，則河水須較深。如依上法在暗沙洲處河道兩岸築隄束流，較前爲困難。須將暗沙洲上水流再加約束，故必於舊隄外，加造縱隄一道，或造若干橫隄。於是水流加疾，其冲刷之力，足以移動卵石。暗沙洲受過度之冲刷，而在暗沙洲下方之水潭中，則有多量沙泥沈積。暗沙洲上方水潭之深度減小，遂令暗沙洲上部之深度亦減小也。

爲圖改良水潭處之傾斜度起見，則有沿凹岸造彎度和緩之縱隄，於河中造隱檻，藉令水潭處河道彎度減小之法。其目的在使河道之徑路，充分平直，而其傾斜度充分整齊，以依天然左右彎曲之徑路，與夫在水潭處和緩而在暗沙洲上峻急之傾斜度也。

河道改直 顧河道經過千萬年之地質時代，時時調整其長度，其徑路之彎曲度，及其傾斜度，以求合於流域之地質，與夫所移運之物質。一旦令河道改直，則減小其長度，而增加其傾斜度。又因暗沙洲上傾斜度與水潭中傾斜度之關係變化，且水道橫剖面積減小之改，水潭中傾斜度益見增加。河水之流速加大，而河槽加深。除非河中隱檻甚多，足令河道在實際上無異於鋪砌而成之水道，

則此種河槽加深現象，常甚劇烈，堪使護岸工場陷，或坍入河中。

河岸坍下之沙泥，加入河中之沙波，在河中逐漸下移。在河水漲高時沙波之高度增加；在河水降落時，則於沙波中冲刷成水槽若干道，其深度常不足以通航也。

沙波在受約束之河道中，繼續下行，至此段之下方，造成暗沙洲，提高水面。此際暗沙洲上方水潭水面則降低。兩種影響相合，遂造成和緩之新傾斜度，令水之沖洗作用，減至常度。在經過整理之全段河道，其傾斜度終較別段為和緩，而此段河道情形，較別段為優良，惟別段之傾斜度及深度，則反變為惡劣。河道自發源至入海，全部落差乃一定數，故一段之傾斜度減小，他段之傾斜度必加大也。

計刺洞氏之研究

計刺洞 (Girardon) 氏嘗舉倫河上密立柏渠 (Canal de Mirible) 為例，

證明河道取直之害。一八九四年，計刺洞氏列席於第六次國際航業會議，提出改良倫河計畫，主張聽其遵行天然左右彎曲之徑路，容其傾斜度在水潭上者和緩，而在暗沙洲上者峻急，惟將不便通航之處改良之。

整理河槽之法國法 馬 (De Mas) 氏謂計刺洞氏之計畫，在整理河道法上，闢一新紀元。又有法格 (Fargue) 氏者，於河槽彎曲對於河槽深度之影響，研究甚深。合二氏之發明，對於整理河道工事之正當功用，遂得有新觀念。在約束河槽之工事，昔人祇注意於其收束之分量，今乃知其所予河水之方向，遠較此為重要。此種整理河道之法，可稱法國法，以別於所謂德國法，即裁灣取直之整理河道法也。

採用此法國法整理河道時，保存河道之左右彎曲徑路，或且令其彎曲加甚，藉使暗沙洲之地位，更為安定。此法不求深度整齊，亦不求傾斜度整齊。在河道中容暗沙洲存在，且容其頂部隨水漲而增加，惟當水落時，則令流水之方向，恰能在暗沙洲上刷成深度如所需之水道也。

法格氏定律 法格氏之研究，得有六條定律如下：

- (一) 變向定律 河槽中最深之處，在曲線之頂點，最淺之處，在起點及終點。
- (二) 最大深度定律 如曲線頂點處弧度愈急，則最大深度處愈深。
- (三) 曲線定律 為求平均深度及最大深度合度起見，曲線不可過短，亦不可過長。

(四)中心角定律 對於同一長度之曲線，其中心角愈小者，其水潭處之平均深度愈大。

(五)連續定律 河槽之縱剖面圖僅在曲線之彎度變化和緩時，始顯示和緩之變化。彎度急變時，深度亦急變也。

(六)河槽傾斜度定律 如河槽曲線繼續變化，則其彎度增加時，深度減小，而彎度減小時，深度增加。

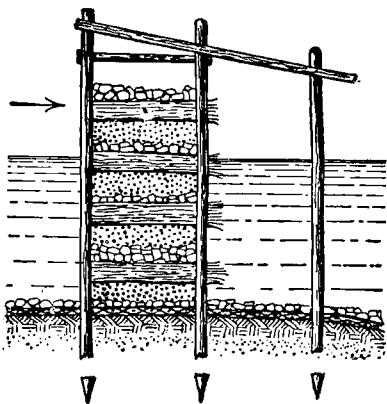
法國法之要義 法國法整理河道，乃如上所述，於河道彎曲處，作成適當彎度，而造隄以延長之，其旨乃在予河水以適當之方向，而在兩曲線之中間段中，作成所需之深度。由河槽中洗刷之沙泥，沈積於隄下，恰在曲線段及其中間段中，作成寬度適宜之河槽。

顧法國法整理河道，雖屬適當之法，然使用之時，亦未可過於拘泥，蓋河道整理一事，與別種工程（如橋梁建築）之適用嚴密算學分析者不同也。原理誠無變易，而各河有其特別情形，以今日吾人之智識而論，尙不能用算學公式表明之也。

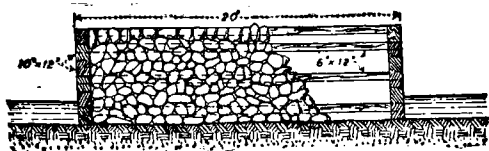
第二節 縱橫隄

縱橫隄 謹守法國

法以治河，則當於河之凹岸方面，建築縱隄，使在低水位時之河流有適當之方向；隄之徑路取正弦曲線式，而隄身不過高。在縱隄與河岸之間，復造橫隄一排聯絡之，以防縱隄背面受水沖刷。在凸岸方面，亦當造相似橫隄，以防高



第二圖 木框碎石柴排橫隄

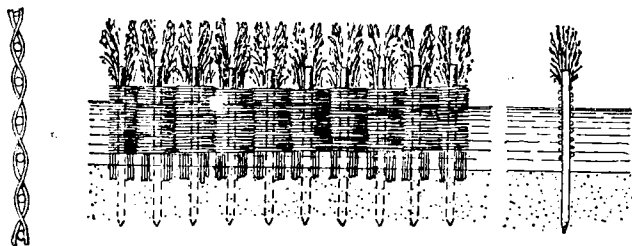


第三圖 木框碎石橫隄

水位時河岸之坍塌。此種橫隄在低水河槽之界線處，愈低愈妙，離河槽加遠則逐漸加高，所以使河水落時逐漸歸入低水河槽也。在彎度改變處，亦當用橫隄保護之，以防高水位時河流之冲刷過劇。

透水隄 如河水挾帶泥沙甚多，可用透水隄，以代卵石或石塊造成之橫隄。有多處河道，採用此法。造透水隄時，先下椿一系列或數列為骨幹，結構堅牢，另用柳枝紮成柴簾，被於其面，則水流被阻而泥沙沈澱。在密蘇里 (Missouri) 河及密士失必河，省去柴簾，因河水甚渾濁，單用椿時，已足令泥沙沈澱也。

此種橫隄，可令河岸逐漸漲高，至所需之度，以不出河中滿水時之水面高度為限。論理用此法以誘導洪水時泥沙之



平面圖

正視圖

剖面圖

第四圖 木椿柴簾透水隄

沈澱，當無不可。但在實際上，如洪水時河中漂流物甚多，或冬季河中結冰甚厚者，則橫隄之高度，受其限制。因當漂流物或冰塊在隄上堆積已多之前，如未有足量之泥沙沈積，則隄側壓力過大，每有毀隄之虞也。

如在透水隄間，每遇一次洪水，即可令泥沙沈澱，高與中水位齊，則經數次洪水後，漲出之地面，已有充分之高度，可供耕植之用。

在泥沙未漲足以前，常有多量之漂流物爲隄頂所阻，如壓力過大，則足以毀隄。在臨近低水河槽處之隄頂最低，由此向內逐漸加高，即所以減小此種危險，因漂流物常在隄之臨水一端堆



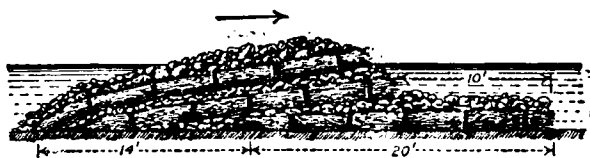
第五圖 三和土塔透水隄

積最多，常河水漲至高水位時，能流過低隄故也。

樹枝障沙隄 在美國密蘇里河上游，近來用一種樹枝障沙隄。造法係先於河底打樁，用連枝之樹繫於其上。樹枝阻抑水流，引起泥沙之沈澱，惟因其充分柔軟，故能容冰塊及漂流物流過，而不受損。又在隄之臨水末端，所起沖刷，亦不如常法造隄之劇也。

用樹枝障沙隄代護岸，頗著效驗，尤以在河道之末，曾經節節整理者為甚，而在保護橋梁或碼頭等時，亦極相宜。此式隄能隨河道水流之曲度，自行調節其位置，求與環境相符。在樹枝價廉石料昂貴之處，用之頗合算，所費較尋常柴排為廉也。

碎石柴排隄 在河水含浮游泥沙不多之處，例如在密士失必河上游，則用透水隄之成效欠佳。因透水隄不僅易為浮冰漂木所衝毀，且其木樁露在低水位上之部分，外無積沙保護，時乾時溼，極易朽壞也。故密士失



第六圖 碎石柴排隄

必河上游之造橫隄，多用柴排堆積碎石，沈入水中爲之。其最低之柴排，均在隄身下十英尺，故無隄脚受洗刷而坍塌之虞；且泥沙嵌入柴排中，不致因朽壞而陷落也。美國其餘諸河，造橫壩之法，有全用雜石堆成者，亦有用卵石作基上鋪雜石者。

石籃隄 在一八八〇年以前，來因河上造束流隄之法，係用樹枝作籃，中盛卵石，堆成隄之下部，即在低水位下之部分；隄之上部則用卵石，覆以雜石。自此年以後，河槽多經浚深加深，即以所得卵石供築造隄身之用，而用雜石保護隄面使不受沖刷。隄之向下游之側面，傾斜度較急，用雜石保護之。其向上游之側面，傾斜度較緩，大較爲豎一平四，在河流不過急之處，可不加保護也。

橫隄之布置 橫隄間應有之距離，及其對於水流應具之角度，學者對之嘗有深切研究，尤以德國學者爲甚。德國來因河之橫隄，最初採用斜向下游之式。此種造法，引起沿隄之沖刷，致其隄下陷甚劇，又在隄間之河岸甚易傾坍，不得不將上一隄之外端與下一隄之內端連接以防之。其後德國工程界，依多年研究之結果，採用之式如次：在直河中橫隄，斜向上游一〇五至一一〇度；在曲河凹岸橫隄，斜向上游一〇〇至一一〇二·五度；在曲河凸岸橫隄，斜向上游九〇至一一〇〇度。橫隄布

置之法，係使兩岸相對兩隄延長之交點，適位於河槽中線上。橫隄之距離，在直河中等於河槽寬度之七分之五；在曲河凹岸方面，等於其一半；在曲河凸岸方面，等於其全數。

法國及意國之築橫隄，亦通用微斜向上游之式。美國之築橫隄，則多採與水流垂直相交之式，其用材料最省，但間有斜向下游者。歐洲所築橫隄之末端，常多置雜石。水流繞過時，刷成之洞穴，藉此填補。美國則於隄端沈置柴排，防止沖洗也。

曲河凹岸之橫隄 如須在曲河凹岸建築橫隄時，若河水所挾泥沙豐富，以透水隄較不透水隄爲宜。考河中如有障水之隄，自一側河岸伸入河中，則其下方，有漩渦作用。此漩渦作用，不僅使在河底滾動之泥沙，淤積在隄後，且使趨向下游不遠處之河岸傾坍。如造透水隄，則沿岸之水流，非屬全部被阻，故漩渦作用可以甚微。隄後所淤積者，不全屬在河底滾動之泥沙，而大半是水中浮游之泥沙。河岸被漩渦作用侵蝕之處，移至下游稍遠處，便可於此造橫隄以防止之。用此種透水橫隄，得造成任何弧度之新岸，所費且較歐洲造曲縱隄而以橫隄連於河岸者爲省。新岸造成後，加造護岸工事之費，亦遠不及造縱隄之費也。

曲河凹岸之橫隄，受浮冰漂木而毀壞，較凸岸之橫隄爲易；此因在曲河中，盤香式之水流，使浮在水面之物，趨近凹岸故也。河水沿新成之岸向下而流，使岸側向河之傾斜度頗急，於是隄之末端突出於河底之上頗高。故新岸既成以後，便須削短橫隄之外端，使與新岸之傾斜度均齊，再加護岸，否則將逐漸傾坍也。

隱橫隄 諾布令(Nobling)氏主持改良德國來因河之工事，創用淹沒在水中之橫隄，保護河岸，頗著成效。其初用卵石建築，以柴籠盛卵石保護之，以防沖洗；今多用卵石建築，以雜石覆蓋之。其隄起自岸旁平水位處，依豎一平四之傾斜度，伸入河中。隄之向上游側面，用豎一平二之傾斜度，鋪置雜石以保護之。在曲河凹岸處，此種橫隄之間，河岸受蝕而坍卸，須加保護。用浚濬所得卵石置在岸側，覆以雜石可也。

第三節 護岸

雜石護岸 歐洲河道在彎曲處，如不造縱隄，其護岸今多採用雜石。取雜石傾置於岸側，容其

自行拋卸，以成傾斜度。如河底非固定者，首先傾置之雜石，下陷水底，陸續增添，漸使泥土密實，終得固定之河岸，傾斜成凹進之弧形。如是需時長短，視土質虛實及水流遲速而定。

石籠護岸

昔時法國工程家對於曲岸處之護岸，主張用盛卵石之柴籠以代雜石之一部分，謂可省費。意國波河之護岸工亦用此法。其雜石在低水位下之傾斜度為豎一平二，亦有為豎一平一。五者。有如此護岸之曲河，深流線處之水深常大。

柴束護岸

德國來因河之護岸，最初係用柴束沿岸沈下。其堆積之寬度，約與水深相等。護岸之傾斜度，初係垂直，受洗刷甚劇。後改為豎一平一，然猶不免於陷落。後乃捨此而用斜向下游之橫隄。繼之則將上一橫隄之外端，與下一橫隄之內端連接。然此法之結果亦不佳。後遂盡棄諸種護岸方法，而採用裁彎取直法，以免凹岸之傾坍也。

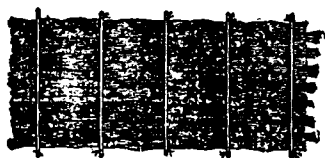
沈褥護岸

美國之治河，雖間有用雜石護岸者，然西美諸河，水深流急，用此法未為合算。故除在小河以外，通用樹枝紮成柴排沈褥，沈於水下，以保護岸腳；而在水面以上，則或用雜石，或用石塊鋪砌，或用三和土以保護之。造柴排之法，隨所用樹柴種類而異。在密士失必河上，當聖保羅與密蘇

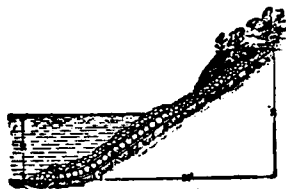
里河口之間，係用樹枝紮成直徑十二英寸之圓束，連接成排，安置與岸成平行；當開羅及維克斯波格之間，係將樹枝編入木格之中。在密蘇里河上所用柳枝，較密士失必河上者為細，故柴排之表面，與編成柳枝籃相仿。

在難得樹枝之處，有用木條編紮成排者。木條之寬常自四至八英寸，厚一英寸，編入木格之中。在密士失必河中游，用此頗著成效。然在紅河則否，諒是建築未合法之故。近年在密士失必河下游，試用三和土於水下護岸工，有用無骨三和土薄板者，亦有用鋼骨三和土塊者。

沈褥應具之性質，為有充分厚度以保護所蓋之土壤，不為水所沖刷，又當能隨地面之高低處處附貼。各種沈褥，俱能與此相合；然在安置之時，尚有種種要點當注意，否則護岸工易破壞也。



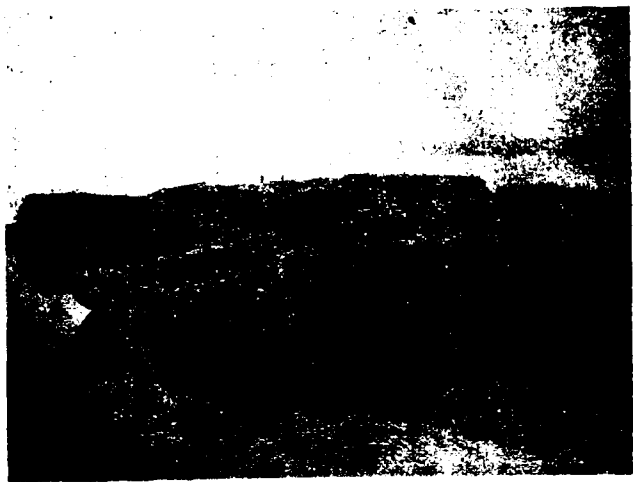
平面圖



剖面圖

凡坍塌之河岸，時時有泥沙落至岸腳，故其在水下部分，常保有此種泥沙之自然傾斜度。迨護岸完成後，則其處無復泥沙下落。因水力之沖刷作用，未曾停止，故護岸下方有被水沖進之勢。是以如不將沈樁擴張至深流線處，則其外緣之沖刷作用，可極巨大，而河岸土壤遂挾沈樁而滑動，坍入河中。故沈樁必須伸至深流線處，俾能保護河岸斜坡，而防其滑動不穩也。

在沈樁外緣，又應置有足量之石塊，使沈樁下泥沙一經被沖洗，沈樁即行下陷；否則沈樁下將有虛空之處。當柳枝初砍伐時，



頗爲柔韌，然置在水中，經數季後，便變成極脆。在安置沈樁之後數年，水流或者改變方向，增加其沖洗之力，而使河槽加深。若原來沈樁上放置之石塊不多，則沈樁不能隨河槽之加深而下陷。硬沈樁置在水中，支承不穩，受漩渦湍流之激盪，極易破壞也。

如河岸土質不整齊，各層泥沙之忍受水力侵蝕，程度有深有淺，則當河中水漲之時，河岸傾圮所成傾斜度，亦不能整齊。其中最耐沖洗之處，傾斜度最大。當河中水落時，此種河岸每不能保持安定狀態；在傾斜度過急之處，不能承受上方土壤壓力，或竟起滑動。如使河岸在低水位以下



第九圖 柴排下水之狀

之部分，傾斜度稍緩，則此趨勢可減小。然即使將傾斜度減至豎一平四，河岸仍可以滑動，與沈樁同落，致護岸在低水線處分裂也。

沈樁之破壞，別有一種原因，即沈樁內河岸泥沙穿過沈樁入水，以致沈樁下陷是也。此非水穿過沈樁冲刷所致。實因當低水位時，有水從河岸中滲過，挾沙同行故也。大概岸內有積水之處，（如造隄防時在岸內近處取土所開之坑，）為水之來源，而河岸土壤，係屬沙質，則容水滲過。是以岸內近處之水，務宜洩盡，以防此弊。

改良曲岸河道時，每有先將凹岸方面之護岸造成，因工費不裕或另有險工之故，不續造其對方凸岸應有之橫隄者，此實易使已成之護岸，有破壞之危險。考河流在彎曲之處，半徑隨水位之高低而異。當洪水時，曲流之半徑加大，越過凸岸，激射於凹岸之護岸，遂急易其方向，此際水流之半徑極小，因之護岸之底，沖成深穴，而護岸即坍入其中。近深穴上游之河槽，因漩渦作用之故，常有泥沙淤積，故河流狀態，大起擾亂。又如行裁彎取直法時，河流半徑隨傾斜度改易，亦有相似影響也。

沈樁蓋在岸側，常至安置時之水面為止。然其在低水位下之部分，易於朽壞。故應覆以雜石，俾

能耐用。岸側在沈樺以上處，造成適當傾斜度，自豎一平二至豎一平四不等；鋪以石塊，厚約一英尺；如易得卵石，可覆以四英尺厚之三和土。水在石塊之間隙結冰，至融解時，易致石塊與岸側分離。水中浮冰與鋪砌之石塊相摩，易使其散落。皆爲用石塊鋪砌之弊。三和土則較優。無論用石塊或用三和土鋪砌時，雨水自岸上流下，易於鑽入其下，洗成洞穴；須沿岸頂開水溝，用砌成之水槽，引水下行，以防此弊。起大風時，水波激盪，石塊鋪砌之岸坡，較三和土造之岸坡，爲易於損壞。

第八章 化河爲渠

第一節 總論

壩之功用 全河之中，若有一段之傾斜度減小，則其中暗沙洲上之水加深。故如在河中築壩若干座，分全河爲若干段，則上下兩壩之間，成爲深潭，河中在低水位時之傾斜度減小至於極微，而水面高度之差異，乃集於壩處。此法治河，名曰化河爲渠法。凡河道在低水位時流量不大，而所挾泥沙之量亦無多者，用此法治之，以利通航，尤屬相宜。

河中泥沙 此種之河，在低水位時挾帶泥沙之量，無關重要。在高水位時，則泥沙有沈澱積聚在壩後之趨勢，然可用浚濬法，開成河槽。當泥沙之量太多時，所需浚濬之工，或者過巨，而增加保養河道之費。如不用固定壩而代以活動壩，則此項保養費，可以節省不少。

活動壩中阻止水流之部分，可以隨意降低，或竟全行移去。當河中泥沙之量逐漸增加時，如壩之管理得法，可令水中浮游之物質，不起沈澱，而水底滾動之物質，運行情形，一如在河道中無阻礙時然。當河中水位高時，河中水流既無阻礙，自可通航。於是船舶上下，可不經過所設之閘矣。設活動壩時之水面高度，可較設固定壩時之水面高度爲低，此在人烟稠密之區，亦屬重要問題也。

第一節 壩

固定壩及活動壩之並用 壩大別爲固定與活動二式。活動壩復隨其活動部分之形式而分爲多種。然近年所造之壩，罕有單採一式者。造固定壩時，亦常用有活動扉之餘水門，而造活動壩時，每於其通航段採取一式之扉，而於其漫水段採取別一式之扉。有時一壩之下部爲固定壩，而上部爲活動壩，不僅用此以節制洪水面之高度，且當水位高時，固定壩沒入水中，有此則便於通航也。當河水漲時，水位之升高，在壩底處較在壩頂處爲速。但其速度之變化無定，乃視水位之高度，河道之傾斜度，及壩下地勢而異。有時在壩頂之水位升高一英尺，則在壩底之水位升高兩三英尺。是以在

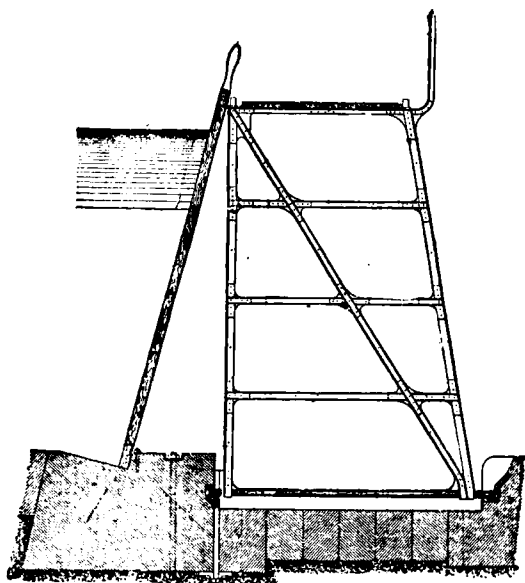
水位高至某限度時，可令壩頂上之水面傾斜度甚微。若壩頂上水位足度，則船舶得在正流中通行無阻，可免過閘之耗時費事矣。

活動壩之形式 用活動壩以

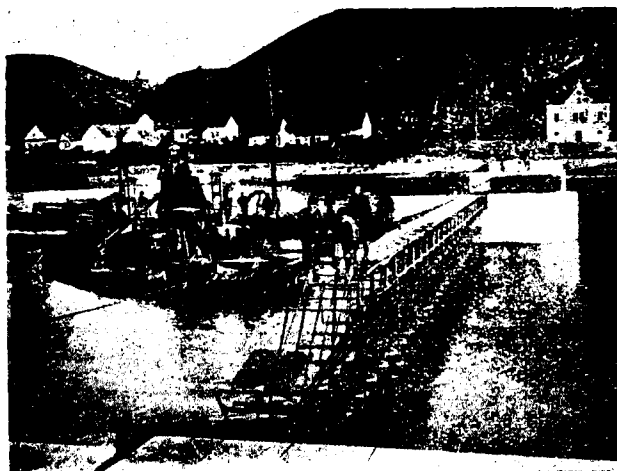
改良河道，始於法國工程師。最初有坡勒桿式壩 (Poirée needle dam)，用者甚多。後來各國工程師繼續發明新式樣多種，茲述其大略如次。

(一) 坡勒桿式壩 此式壩之

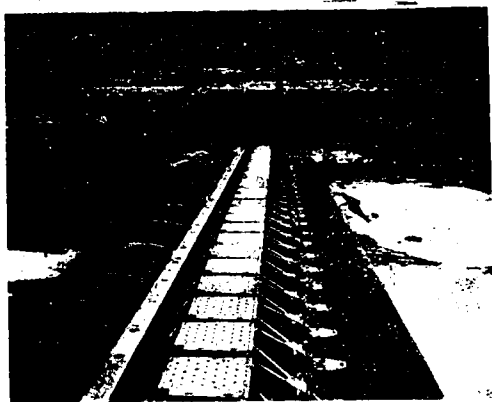
主體為壩桿。用木所製，橫剖面常為長方形。最初所用者，每桿之重量，常以能用手力安置為限。當安置在壩中時，桿之下方抵於木製之壩檻或



第十圖 桿式壩之剖面



第十一圖 桿式壩升起之狀

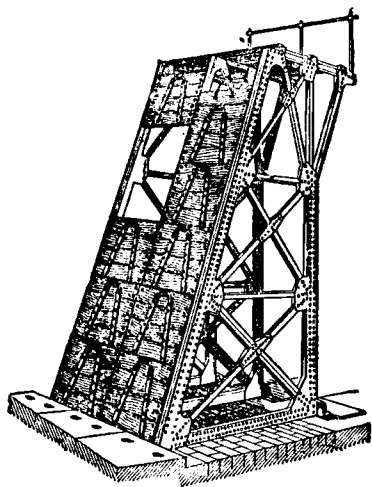


第十二圖 桿式壩落下之狀

三和土製之壩檻；桿之上端抵於一橫樑。橫樑以杙架支之。杙架用鉸鏈繫於壩底，俾當壩桿移去時，可令杙架偃臥於壩檻之下。諸杙架可移動之端，係用一鏈條連之。起壩之法，為牽拉鏈條，使杙架直立。次將壩樑安置於杙架上，而令諸壩桿一排，上抵於壩樑，下抵於壩檻。在壩架上，有一窄橋，以便工作。

壩桿加大，運用加難，於是所用壩樑乃採可拆卸之式，以代有支承之式。任一對壩架中之壩樑，可以拆卸，令其間之壩桿浮於水面。壩桿用繩連繫，以便檢取。壩桿之上端，復用鈎繫之，以使用絞盤牽引之也。

(二) 部勒屏壩 於桿式壩中，用橫板以代豎桿，則成部勒屏壩 (Boulé gate dam)。壩板之末端與壩架之面相抵，而沿之滑動。壩屏之大小，受滑動摩擦阻力之限制。如添用輓輪，則阻力可減



第十三圖 部勒屏壩

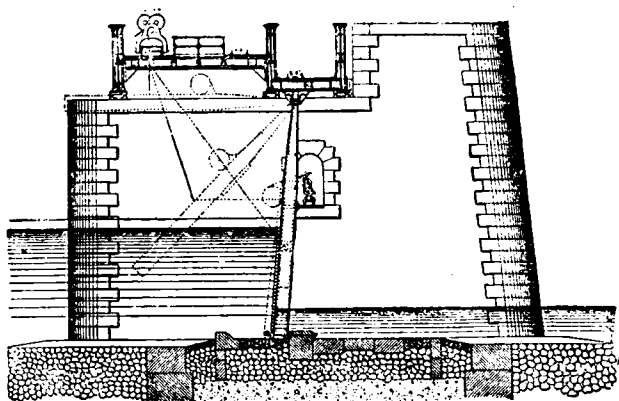
小，而扉可增大。

(三)斯吞尼扉壩 在部勒扉壩之扉及支柱之間，設一串之輓軸，則成斯吞尼扉壩 (Stoney gate dam)。此式壩扉運用之力可減，故壩扉可大。

(四)橋壩 如壩之漫水段，設置大扉，可用圻工壩墩壩橋，代鋼造壩架及木造壩橋，於是洩水門乃成壩面之孔穴。在壩之通航段，壩架及壩扉，俱用鋼橋支之，俾可提起壩架及壩扉，容船舶通過。此種鋼橋并可作兩岸交通之用，如美國紐約貨船渠 (New York Barge Canal) 在摩和克 (Mohawk) 河上所造之壩，是其一例。若美國巴拿馬渠 (Panama Canal) 之防險壩 (emergency dam)，則屬旋開橋式壩架及



第十四圖 橋壩



第十五圖 簾壩



第十六圖 滾筒壩

壩扉，懸於其上。當需用時，放下之。

(五) 簾壩 活動壩有裝設卡麥勒壩簾

(Camere curtain) 以代壩扉者。壩簾係以窄

木條橫置，用鉸鏈聯結，有如簾狀，用無首尾之

鋼練繞過之，以便捲起或放落。每簾當放落時，

上起水面，下抵壩檻。

(六) 滾筒壩 活動壩有用滾筒 (rolling

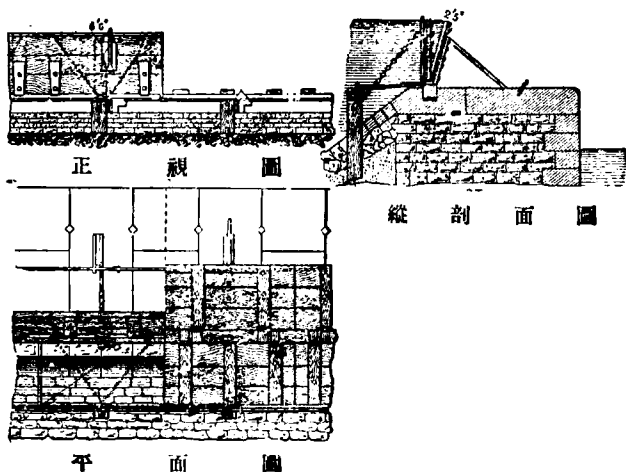
cylinder) 以代壩簾者，是為滾筒壩 (rolling

dam)。滾筒為金屬所製圓筒，橫置，而以兩端

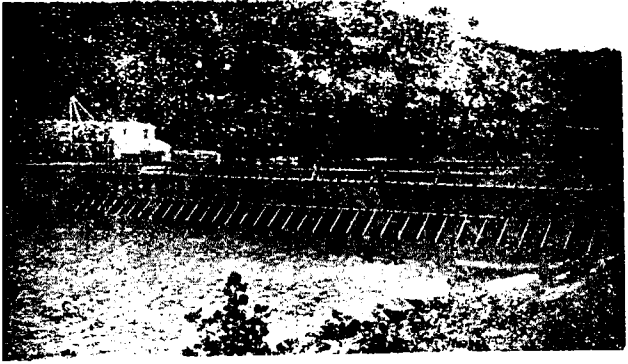
支於圻工壩座上。常不用時，則沿在水面上之

斜坡而向上滾動，係用強力之機械為之。

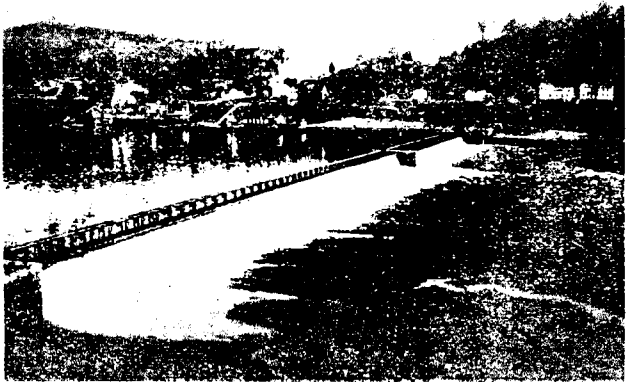
(七) 塞那德屏壩 上述諸式之活動壩，



第十七圖 塞那德屏壩



第十八圖 散諾涅屏壩

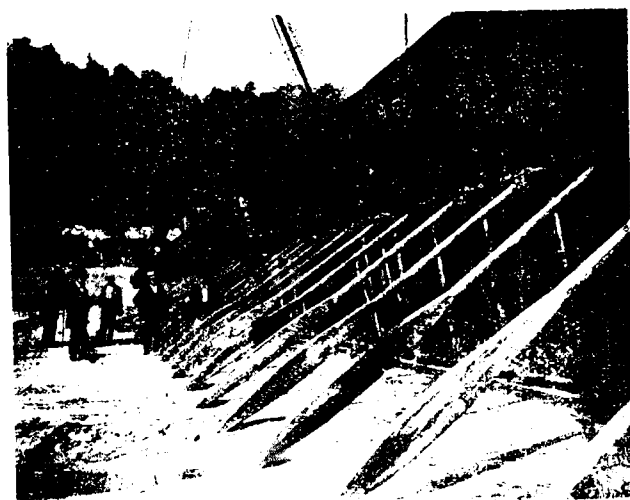


第十九圖 散諾涅屏壩之全形

其阻止水流之部分，俱係於洪水時移動之與壩相離。在多種式樣中，係降落至河底。塞那德屏壩 (Thénard shutter dam) 乃最初採用此原理之一式。塞那德屏係用鉸鏈與壩底相連，而以支柱支之，支柱則以支座承之。塞那德屏當安置時，對於水流阻力甚大，故須於支柱與支座攏合之先，另用補助屏阻水方可。

(八) 散諾涅屏壩 散諾涅屏壩

(Chanoine wicket dam)，法國廣用之。此式之屏，係在其中點附近處，用鉸鏈與轉架相連，轉架復用鉸鏈與壩底相連。用支柱支



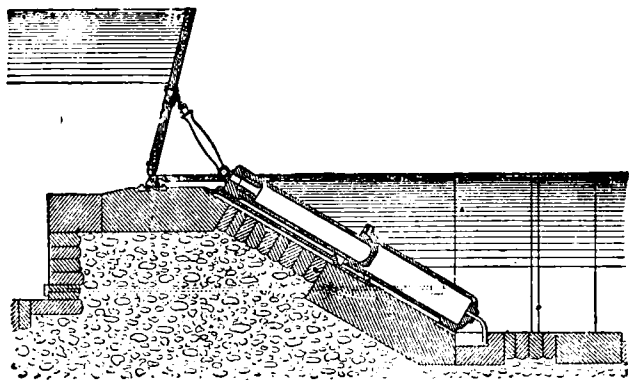
第二十圖 散諾涅屏壩之支持法

扉，使其直立。支柱復用支座承之。扉之轉架，可以提起，而其支柱可於壩扉浮在水面時安置妥貼，待至轉架豎起後，則壩扉能因其下端受水壓之故而旋轉至其適當地位也。

壩之降落常用振桿 (tripping bar) 司之。振桿爲一鋼桿，具有突出之齒，在支座中（與支柱相近處）之槽內移動，其齒則與支柱相抵。振桿係用安設在壩墩上之齒輪機關以運用之。其突出之齒，逼支柱自支座上移入相近之槽中，此後支柱沿槽滑動，直至轉架與壩扉均已平臥始止。

(九) 吉刺德扉壩 吉刺德扉壩 (Girard

shutter dam) 乃從塞那德扉壩變化而成。其支

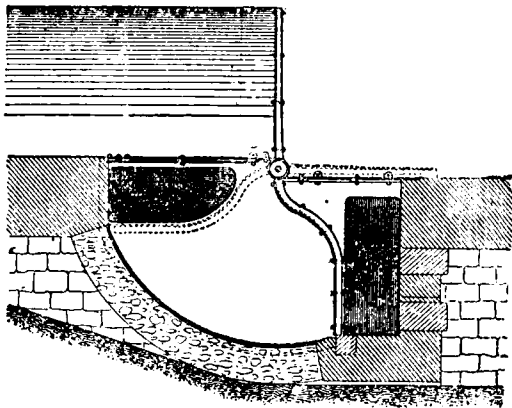


第二十一圖 吉刺德扉壩

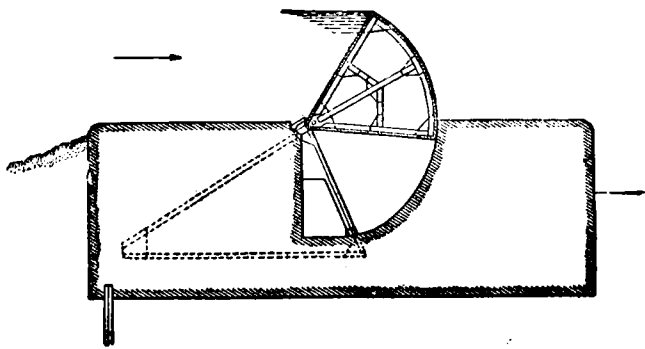
柱與一水力活塞相連，活塞筒中水壓力推動活塞，令扉升起，保持正常位置；若弛其壓力，扉即降落。

(十) 對封騰鼓室扉 對封騰鼓室扉 (Desfontaines drum-wicket) 係於壩身內部造一鼓室 (drum)，在其中設一副扉，與漫水堰處之主扉相連，而司其啓閉。施水壓力於鼓室內副扉之一面，則主扉升起，且保持其位置；去其壓力，則主扉降落。

(十一) 契騰登鼓室扉 契騰登鼓室扉 (Chittenden drum-wicket) 之鼓室，在壩之下游。鼓室中置剖面為扇形之浮箱。以鉸鏈與壩相連。壩扉即為浮箱之面。浮箱不透氣。鼓室中滿水，則浮箱升而壩扉立；洩水，則浮箱降而壩扉臥。

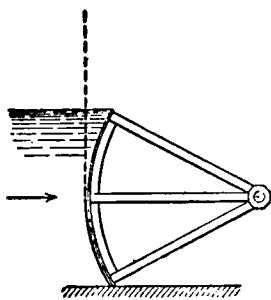


第二十二圖 對封騰鼓室扉壩



第二十三圖 契騰登鼓室屏壩

(十二)退忒屏 退忒屏 (Tainter gate) 此式屏與契騰登鼓室屏相似，但旋轉軸置於水面以上，屏之扇形部分塞住流水之口。屏提起時，容水流過。因



第二十四圖 退忒屏

以旋轉運動代替滑動運動，故摩擦阻力大為減少。

(十三)熊穿壩 在熊穿壩 (bear-trap dam)

中，當其落下放水時，兩屏交掩。屏下有室，在中施水壓

力，令扉浮起。最先所造此種之壩，兩扉俱與壩基用鉸鏈連成，當提高壩面時，兩扉葉互相滑動。

在帕克氏式熊罾

壩 (Parker bear-trap dam)

中，上游之

扉分爲二部，用鉸鏈相

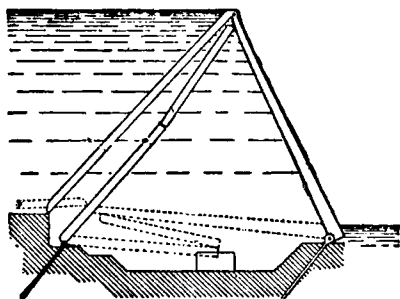
連，上下游之扉之底，用

鉸鏈與壩身相連，而上

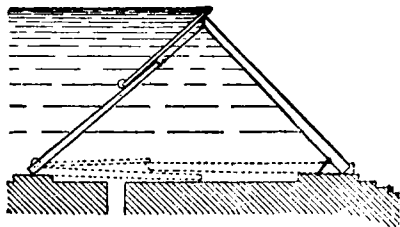
下游扉之頂，亦與鉸鏈

相連。當壩面降低時，則

兩扉摺合。



第二十五圖 帕克氏式熊罾壩



第二十六圖 郎氏式熊罾壩

在郎氏式熊罾壩 (Lang bear-trap dam) 中，其上游之扉，分爲二部，一部與壩身用鉸鏈相連，別一部與下游扉葉用鉸鏈相連。當運用時，兩部分互相滑動。

(十四) 托馬斯尖角架壩 在托馬斯

尖角架壩 (Thomas A-frame dam) 中，壩

屏與其支柱牢固相連，成尖角形。兩者用鉸

鏈連於壩身。關壩之時，使可側臥於沿壩頂

之槽內。

上述種種壩式，尚可有許多變通改易

之處，今不贅述。

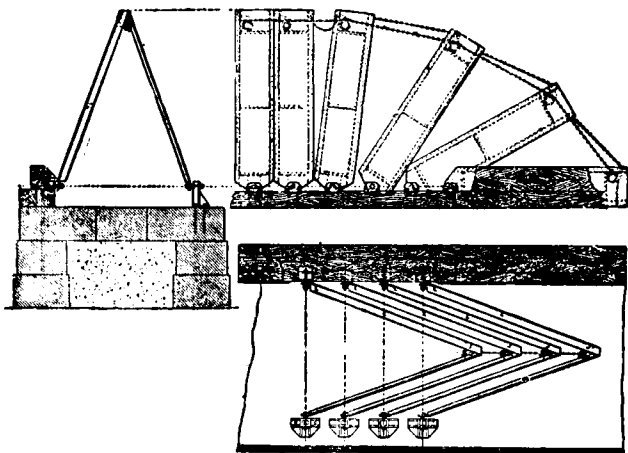
壩之材料 從前造壩，不僅活動部分

用木料，即在固定壩亦有用木料者，如木籠

填石式之壩是也。現時造壩，凡活動部分之

可用金屬材料者，俱用金屬材料而不用木

料，而固定壩則通用三和土建築。重力式壩



第二十七圖 尖角架壩

有改作鋼骨三和土造或鋼造之中空式壩者。

壩之安定性 拱式壩之安定性，繫於其能傳壓力於壩墩，間有用之者。重力式壩不勝水壓力而破壞時，或爲傾倒，或爲滑動；如壩身之重量足以避免傾倒，則常能避免滑動。但拱式壩及活動壩不然，故設計時須研究其重量，是否能防止滑動也。

壩之基礎 造於石層上之活動壩，有因滑動而破壞者；造於卵石或沙泥上者，破壞尤易。

造壩之基礎，如爲質地均齊而不滲水之石層，斯爲最宜，然此種地質極罕。河槽中石層常生有裂縫罅隙，若壩上水位稍高，即容水在其中通過，因之對於壩底起有向上之壓力。三和土與岩石間之附着力，非極強固，尤以板岩及頁岩爲甚。造壩基須注意於三和土之重量，務能抵抗滑動，又須使三和土與岩石聯結牢固。馬 (De Mas) 氏謂河工中，惟水上目力能及之處，可節省工料，在水下則否，其說良是。

壩之基礎，石層而外，以卵石淺礁爲宜。其阻止地下水流之能力，固較沙泥爲強，然設計之時，則不可過重視之，致生危險。在沙泥地，常用板樁擊入地中，造成不透水之牆，阻止地下水流行，但在卵

石地難下板樁，故每用木臺爲壩之基礎，然頗易破壞也。

陸地上建築房屋，得黏土作基礎亦佳。但在河底非至入地甚深之處，罕遇黏土，而尋常所得者乃和沙之泥耳。黏土不滲水，如擊入板樁，造成不透水之牆，則得良好基礎，無滲水之慮。

防止壩下滲水之險 昔時就沙地或沙泥地作基造壩，終致破壞出險者，其例不少；然如工事審慎周詳，則亦可在其上爲穩固建築。欲免壩之下陷，應用樁支之。欲免水之在壩下滲流，應於壩之上面擊下板樁，成爲不透水之牆。擊下板樁時，常難達黏土底層，使基礎全不滲水；然足令地下水流遲緩，而不能沖去作成基礎之材料也。

在美國密士失必河之隄工中，曾察知水在沖積層中滲流，如其行程長度較其源頭高度大過十倍，則土壤有澄濾作用，使水中浮游物質沈澱，而流出之水，視前加清。然在隄後亦偶見沙水湧出，知流水尙有推動沙粒之能力也。如在正隄之後，另造一副隄，俾當兩隄間水滿之時，隄內滲水行程長度，較其源頭高度大過十五倍，則可全無沙水湧出矣。在印度河道，曾作相類之試驗，得知若滲水源頭高度減至不及其行程長度二十分之一時，則能免沖刷之作用也。

在造隄時，常使隄底加寬，以求滲水行程長度與源頭高度有適當比例，然在造三和土壩時，此法過費而不合用，故常於壩下擊入板樁，造成不透水之牆，樁之上部嵌入三和土下部之內，藉令滲水之行程加長至適度。用此式牆時，計算流水之行程長度，常假定其沿板樁牆之一側下行，經過壩底之全寬，後沿板樁牆之別一側而上行。如在壩下，其與第一牆間之距離，至少應有板樁入地深度之兩倍。美國工程師對於此式建築法常不謂然，因第二板樁牆增加壩下之水壓力故也。

增加滲水行程之長度，別有一法，即於壩之上方河槽中，置不透水之黏土一層是也。河水亦常沈澱黏土，而有減少壩身滲水之自然作用，如在美國之邁阿密河，曾察得沈澱沙泥之減少壩中水壓力，遠較板樁為有效。在澳契塔（Ouchita）河上所造一壩，曾經并用兩法，減小板樁阻水牆之深度，而在壩上河橋中填布黏土，但未見成效，不得不再造一板樁牆，以免滲水過多出險。

防止壩上漫水而損毀壩腳之險 在壩上漫流之水，亦為出險之原因。縱使其壩樹基在巖石之上，落水衝擊之力，常足令巖石基礎破壞。如壩基為卵石或沙，尤須特別注意，以防漫過之水，損傷壩腳。壩下可造護床，承受落水之衝擊力，護床可重用碎石鋪成，或用木籠盛石，上加木料作面，而連

結於壩身。護床亦常用三和土造成者。護床之寬度與壩之高度之比率，常自一比一·五至二；但如河槽係細沙泥所成時，則所用碎石護床，可延長至下游頗遠。道勒士尉藍 (Daulshwiram) 壩之壩頂高度爲一六·八英尺，而其護床長度爲一八五英尺。美國亞利桑那墾務局所造拉究那 (Laguna) 壩，爲石塊堆成之壩，壩底有三和土造阻水溝三座，壩頂高度在河槽上十九英尺，其護床與壩身相連，表面爲三和土層，具整齊之傾斜度；壩之全寬爲二四四英尺。印度之馬罕那第堰 (Mahamadee Weir) 構造相似，壩頂高度爲一三英尺，壩底寬度爲一七三英尺。

設壩之地位 爲改良河道而造壩，究應造於何處，應在直線段中乎？抑應在曲線段中乎？如在曲線段中，則船閘應設在凸岸方面乎？抑在凹岸方面乎？凡此均爲大有研究價值之問題。壩頂應有充分長度，以減少洪水面高度。但如選取河身正直而河面不寬之處造壩，則較合算。在凸岸方面所造之閘，進路易因流沙沈澱而阻塞；在凹岸方面之閘，易受水面浮游物所阻塞。然一處造壩及船閘，是否可行，大概視基礎之性質及地質之情形而異。理想上設壩之處，則爲河中有島，在島之一側設閘，而在別一側設壩之餘水堰也。

第三節 船舶過壩之設備

船舶過壩之設備 壩之上下，河中水位高低差異，船舶經過時，使之升降之設備有三種，即（一）過船坡 (incline)，（二）起船機 (Lift)，及（三）船閘 (lock) 是也。

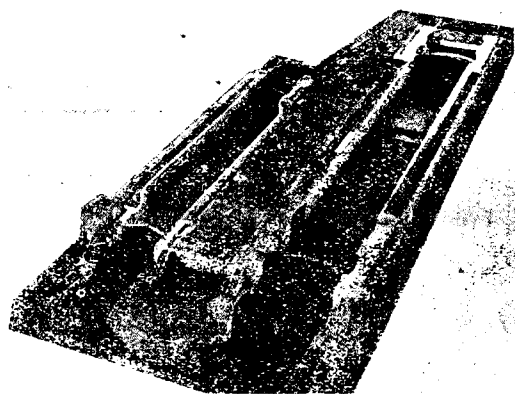
過船坡 過船坡者，於上下兩段河道之間，設一斜坡，上鋪軌道，置載船之車於上，車中盛水不漏。斜坡之傾斜度常為十分之一。船在此段河道中，行至壩處，浮入載船之車中，沿坡上下，放入彼一段河道。載船之車，常有兩座，用繩索連之，當移動時，一上一下，互保均衡。所需運用之能力，則由機械發出，或為汽力，或為水力，或為電力也。

起船機 用起船機時，用盛水不漏之箱以載船，直上直下，常用水力機司其動作。初時所造之起船機，有以兩箱連繫，保持均衡者，有各在過船坡中布置者。

船閘 除在過高之壩外，船舶上下，以用船閘者為最普通。船閘為一大室，其中水位可以隨意升降，或自上游水位易至下游水位，或反是而行。閘有上下兩門，啓時容船舶出入。當閘門閉後，開放

閘之洩水門，則令閘中水位或升或降，一如所欲。洩水門有扉以司其過水之遲速。閘室底及下閘門闕處之水深，必須足度，以容船舶得在閘室與下游河道間進出無阻。閘室牆之高度，必須出於上游河道水位之上。在渠中之船閘，上閘門底有支牆一座支之，支牆頂部與上游河底同高，而底部與下游河底同高。在通潮河中之船閘，上下閘門常屬同式。

船閘之閘門 閘門之形式有種種，與活動壩之有多種形式者相似，且有數種活動壩之原理，在閘門亦用之。如美國舊伊利渠 (Old Erie Canal) 中船閘之轉扉 (tumble-gate) 與活



動壩之轉扉相似，係依平置之軸而旋轉，當啓閘門時，則轉扉平臥於閘底之上。美國密士失必河在聖保羅 (St. Paul) 處所造船閘之扉，採用契騰登鼓扉之式。美國紐約船渠在力特爾瀑布 (Little Falls) 處之船閘，採用有輓輪之上提扉式，使用時提高之，容船在其下通過。美國俄亥俄河中船閘，採用有輓輪之橫拉扉式，啓門之時，將扉藏入門旁深槽中。

閘扉最常用之式，乃沿豎軸旋轉者。如閘室不寬，可用單扉，門旁閘牆凹入，以藏扉軸柱，柱頂安一橫木，伸入岸上，保持重量之均衡，兼司扉之啓閉。當扉閉時，其下邊抵於門闕，而兩邊抵於閘牆。法國渠道之船閘，多採此式。美國大船閘之閘門，多採用雙扉式，每扉之寬較閘室寬度之半爲大，故當閘門關閉時，兩扉斜向上游，互相抵緊也。

閘扉不僅受尋常之磨蝕，且不免於船隻進閘室時之撞擊，故時須修理。在修理上閘扉時，則必有阻上段河水下流之設備；在修理閘室時，亦須有相似設備，阻水入閘室。如閘面不寬，可將兩岸閘牆延長，造成豎槽，攔河置板，兩端嵌入槽中，用以阻水。如閘面頗寬，則宜仿乾船塢之法，用浮箱以阻水。在蘇聖馬利渠 (Sault St. Marie Canal) 之美國段中，有兩座船閘，上下閘門，各有兩重。在巴

拿馬渠中之船閘，則用旋轉橋懸式壩，以備不虞；閘扉外用粗鐵鍊攔之，免有船舶亂撞，致扉受傷也。

船閘之充水及洩水法 船閘之充水及洩水，或經閘扉上之水門，或經閘牆中之水道，或經閘底下之水道，俱受水扉之節制。水扉之式有種種。最常用者有三種：

(甲) 蝴蝶式水扉，依豎軸或平軸而旋轉；

(乙) 滑動式水扉，大者有輓輪助其移動，有似斯吞涅扉之式；

(丙) 鼓式扉。

小船閘之充洩可緩，故充水道與洩水道之所在，無關重要；但大船閘之充洩宜速，又不當使閘室中之水盪激過甚，故水道宜設在閘室底部之下，開多數口門於閘底，則當充洩時，閘內船舶可不搖盪。大閘之下方，應設三和土護床，防洩水沖刷。護床之長須合度。

船閘之寬度及長度 船閘之寬度，視通過船舶之性質形式而異。如河中船舶均係獨往獨來，則船閘之長度及寬度，以能適於最大船舶之進出為準；如閘之附近，設有造船工廠，則船閘須較河中通行之尋常船舶為大，以備不時之需。如河中有拖船往來，則閘室之長度，應能容一列拖船一次

通過。在美國俄亥俄河中，船閘寬有一百英尺而長有六百英尺，以備成列之拖船通過也。

決定閘室之大小，又當注意於將來商業之發展。試舉在蘇聖馬利渠造閘之工爲例。一八八一年造成之外策爾（Waisel）船閘，設計之初，係以吃水十六英尺之船爲準；在閘門處寬六十英尺，在閘室中寬八十英尺，長五百十五英尺，深十七英尺。一八九五年造成之坎拿大船閘，寬亦爲六十英尺，但長度增至九百英尺，以容最大之汽船及所拖之船，其深度在門閘處爲二十二英尺。一八九六年造成之坡（Poe）船閘，係在一八八七年設計，原備四船一次出入，其寬爲一百英尺，長爲八百英尺，在門閘處深爲二十二英尺。當設計之初，湖中最大之船長爲三百五十英尺，而寬爲四十五英尺。自坡船閘與坎拿大船閘加大後，船舶之尺度亦增加甚速。在一九〇三年時，航行大湖中長度過四百英尺，而寬度自四十五至五十三英尺之船舶，有九十七隻之多。在一九一八年時，航行大湖中，長度過六百英尺，而寬度自五十八至六十四英尺之船舶，有四十二隻之多，而坡船閘及坎拿大船閘，尺度俱非合算。比渠中第三第四兩閘，寬爲八十英尺，長爲一千三百五十英尺，而在門閘處深二十四英尺半，以便一次能容兩三隻船舶通過也。

第四節 並行渠

凡在低水位時，流量頗小之河道，欲求通航無阻，有時須開渠一段，與之並行，以便船舶往來，而以原來河道，僅供取水之用。又在河道中有灘險橫亘之處，用並行渠，以避免之，亦爲便利之法。然如河道在低水位時，流量尙屬豐富，且傾斜度又和緩，則用並行渠殊非得計，因不僅費用浩大而已，且造渠則水面不能寬，而船隻往來所受阻力必加大也。

第五節 化河爲渠法之利弊

化河爲渠法之弊 河道有用渠化法改良之則不相宜者，如水中浮游泥沙之量過大，如流量大而河面寬，如難得適當之壩基，如當河水提高時則水在河岸下滲入農田而害禾稼，皆其例也。歐洲之來因河，多腦河及波河，美洲之密士失必河，皆以兼用整理法及浚濬法以求所需水深，爲較用化河爲渠法省費者也。

化河爲渠法之利 若河道之傾斜度甚大，雖因流量豐富能得充分之水深，然如造隄以縮窄河槽，則流速之增加頗大，致令上水之行船過難；在此種情形中，則以用化河爲渠法較用整理法爲合宜。歐洲倫河曾用整理河槽法以得低水位時二公尺之深度。然其傾斜度過大，而上水行船滋不易。故雖向來用整理河槽法著有成效，而近來會有新計畫，改用化河爲渠法，造壩以調節傾斜度，兼有發水力之利益。主張此說者，謂利用水力所得，足抵工事之費有餘也。在改良密士失必河上游之改訂計畫中，繞過駱克島險灘 (Rock Island Rapids) 處開並行渠兩短段，添設船閘，以便上行船舶通過，而經過險灘之原來河道，仍留供下行船舶之用也。

第九章 浚濬及開鑿

第一節 浚濬

在冰川地域河道中施行浚濬 在冰川放棄沙石所成地域中經流之河，其中暗沙洲往往異常穩固，甚至雖曾縮窄河槽，使水流加急，猶未能沖刷去之。如暗沙洲係由大石塊或卵石，或黏土積成，可用浚濬法在其中開成水道；如全屬巖石，則常須施以炸解之工。如此所得河槽，多能永遠通利，蓋此種河水既不多挾泥沙，又力弱不足以起沖刷作用故也。

在化渠之河道中施行浚濬 在用化河爲渠法改良之河中，淤積於壩下之泥沙，須用浚濬法除去之。

在沖積地域河道中施行浚濬 流過沖積地域挾帶泥沙之河，有人主張亦用浚濬法治之，以

代化河爲渠法或整理河槽法。然在此種情形中，浚濬法非絕對適用者，理如下述。泥沙之行動，在人工浚濬而成之河槽中，與在天然沖刷而成之河槽中，初無二致。在曲線段下方之直線段河槽，每遇水上漲一次，則其中沙波行動而沙波之頂部亦增高。是以在浚濬所成之河槽中，每遇水漲，便有泥沙淤積，迨水落時，則須重行浚濬。如諸支河之水匯入幹河，而使幹河屢漲屢落，將不勝浚濬之煩，其工費過巨，或不如造隄整理河槽，收同一效果，而所費爲省也。然如諸支河之水匯入幹河，適令幹河之漲落俱緩而長，則在幹河每年或僅須施行浚濬一次或二次，即足以維持河槽之適當深度，以利通航。造隄之費在幹河遠較在支河爲多，故在此種情形中，造隄費之年利，可大於每年浚濬之費，自以浚濬爲合算矣。

浚濬所成河槽之寬度及深度 浚濬所成河槽之寬度及深度，常隨通行船舶之形式而決定，不以河之流量及傾斜度爲準。支河之低水位流量常遠遜於幹河，而其傾斜度常較急，故在支河中，每須開成過寬過深之河槽，非支河在低水位時流量所能供給；若將河槽寬度減小，以免除此困難，則因船舶在河槽中佔有地位甚多，致礙河水之下流，而船舶之上駛甚難也。

今設例以明上述之理。假定幹河之低水位流量爲每秒鐘七〇、〇〇〇立方英尺，在其中暗沙洲上之傾斜度爲每英里〇·四英尺；支河之流量爲每秒鐘一、〇〇〇立方英尺，在其中暗沙洲上之傾斜度爲每英里一·五英尺。在幹河中寬二〇〇英尺深九英尺之河槽，橫剖面積爲一、八〇〇平方英尺，其流量約爲每秒鐘五、四〇〇立方英尺，較全河流量之八%爲小。在支河中，可通航之河槽，深須有六英尺，而寬至少須有七〇英尺，方能容兩船對行無阻，即其橫剖面積至少須有四二〇平方英尺，而其流量將逾每秒鐘一、四〇〇英尺。此指河中能供給所需水量時而言，但如供不應求，河槽中水深便減矣。

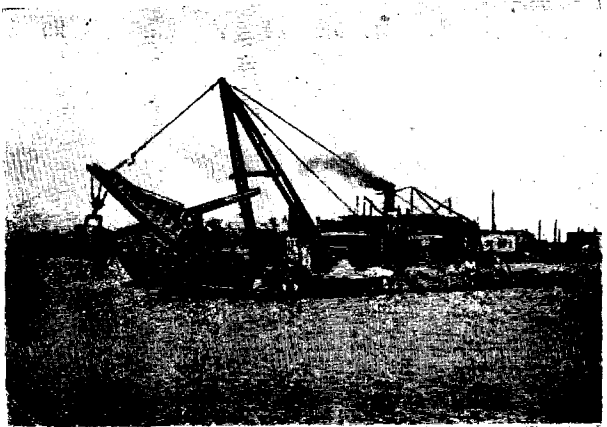
在行整理河槽法之河道中施行浚渫 用整理河槽法以使河道改直時，河道重行調節其傾斜度，需時甚長；當未恢復均衡狀態以前，河中暗沙洲常有生滅，故須年年用浚渫法在暗沙洲上開深河槽也。

浚渫機 浚渫所用之機械，名爲浚渫機，式樣有種種，今不細述其構造，但就其使用之利弊論之如次。

(一) 鏟杓式浚渫機 鏟杓式浚渫機 (dipper dredge) 係將尋常汽機鏟安置於船上而成，施於普通浚渫最宜。無論掘取物質之為軟為硬，皆可用之。若鏟杓加有鋼齒，用於掘取大石塊及炸解之巖石，最為省費。

(二) 夾杓式浚渫機 在較深之河槽，如泥沙質軟，且不隨水漂散，則以用夾杓式浚渫機 (clam-shell dredge) 為最宜。

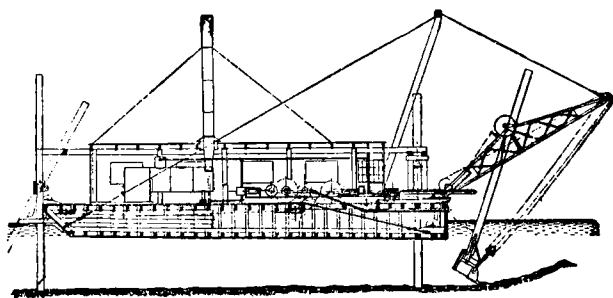
(三) 鏟梯式浚渫機 鏟梯式浚渫機 (elevators dredge) 在歐洲廣用之，以浚渫較深之河槽，而在美國則用者不多。如鏟杓之鐵鏈特別堅固，可用以浚渫成層之巖石。



第二十九圖 鏟杓式浚渫機

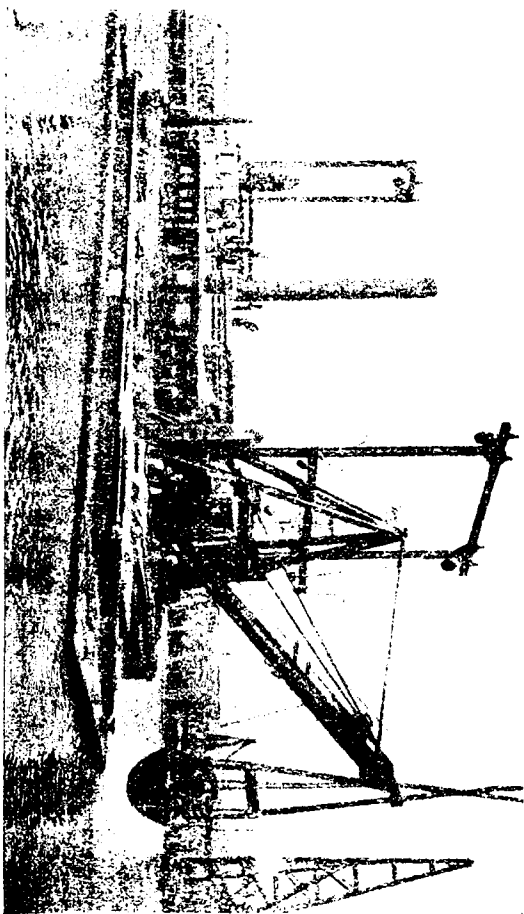
上述三種浚深機均須有附帶之駁船，以盛所起之土石，運至指定之處傾卸之。鏟梯式浚深機有時不用駁船，而於機側置槽以引送土石。

(四) 水力吸筒式浚深機 在沖積地域河流之淺礁上開掘河槽，多有用水力吸筒式浚深機 (hydraulic suction dredge) 者。蓋藉浚深法以維持河槽之深度，必須將河槽中多量之泥沙，速行移去，以使河水隨即集中於所定線路而流行。若開掘甚緩慢，則河水或竟在別處刷成河槽，反致令所定線路處，天然之淤積較人工之浚深為速。在此種情形中，所用浚深機，開掘能力須大，且須能繼續工作不息，方為有濟；而掘出之物質，又須移運至河中遠處傾卸，俾不至復歸掘成之河槽。在各種浚深機中，惟水力吸筒式浚



第三十圖 鏟杓式浚深機

第三十一圖 夾杓式渡溪機

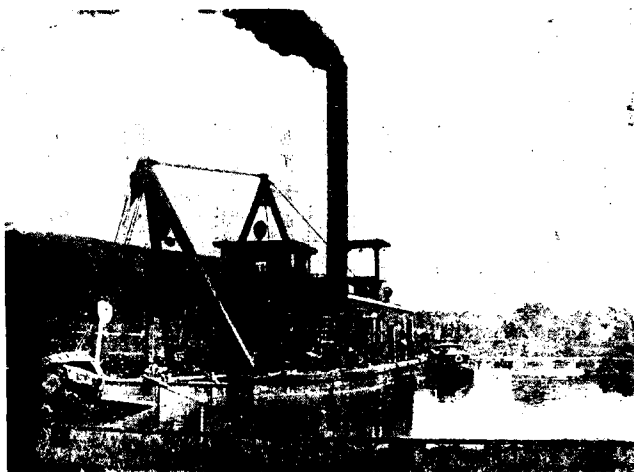


潔機，最適合於此種需求。如所吸起泥沙能棄於兩堤之間，用此式機尤著成效，在用整理河槽法治河時，常可依此行之。如河底爲沙，宜用水管引水沖刷，使之分離，以便吸取。如河底爲黏土，宜用轉刀割之，以便吸取。浚潔機應否具有獨自行駛之能力，抑或藉別船拖動，視其是否時時移行及程途長短而定。

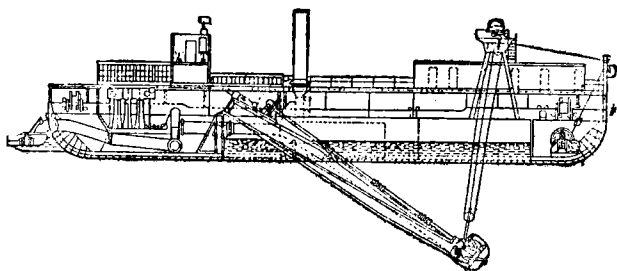
在河口所用水力吸筒式浚潔機，宜取能自行駛且附有土艙之式，因如用管送土，其管過長不耐波浪衝擊故也。當浚潔機中土艙盛土幾滿時，則駛至河口外



第三十二圖 鏟梯式浚潔機



第三十三圖 水力浚深機



第三十四圖 水力吸筒浚深機

深水處，開艙口卸去之。附土艙淺濶機之式樣復有數種，隨所用吸管口之式樣而制其宜；何式最爲省費，乃視所掘取之物質種類而定也。

第二節 開鑿

在圍壩中開鑿法 在水底開鑿巖石，如所當移去者甚廣甚厚，則最省費之法爲繞其處造成

圍壩，除盡中間之水，掘去巖石，惟必在所造圍壩不妨礙河中現有航路時，始可行之。在密士失必河

上之開鑿駱克島險灘，在聖馬利河（St. Mary's River）上之開鑿西泥比士水道（West

Neebish Cut）及在底特律（Detroit）河上之開鑿李溫士敦水道（Livingston Channel）俱

用此法。破壞巖石之方法與在陸地所用者同，係用汽機鏟及裝卸車運去之，或用索道運去之。

用碎石機法 如開鑿巖石之面積不大，或因通航之故，不能造圍壩阻水，則另有數種方法可

用。如巖石係碎成片塊露出河底，或具分層之結構，可破爲大小適度之塊，以用羅布尼次碎石機（Lobnitz crusher）開鑿之爲最省費。此機具一鋼製之重錘，由高處下落，擊碎巖石。在來因河及

多腦河中開鑿險灘，慣用此機。但如巖石之結構齊整，用此機乃不易見效；蓋巖石一經被擊碎，仍留原處，以後再擊，僅使碎片改小，其力不能深入也。

炸解法 來因河上游，開鑿水底巖石，有用炸解法者，人藏於潛水罩內，至水底鑽鑿孔穴，安置炸藥，以行炸解。美國則將鑽石機置於船上，泊於開鑿之處，以行鑽孔。在密士失必河上之開鑿略克島險灘，在聖馬利河上之開鑿西比利士水道，在底特律河上之開鑿安麥斯特堡水道（Amherst-burg Channel），俱依此法。在多腦河上，亦將鑽石機置於船上也。

在美國紐約港東河（East River）上赫兒門（Hell Gate）處之開鑿巖石，係在河濱陸地，開一導井，從井底開一隧道橫過河底，復從此開鑿多數支隧道，如此已移去一部分之巖石。以後施以炸解，令隧道頂部下陷，復設法起去碎石，即得所需之河槽深度矣。在美國舊金山港中鑿去布羅紫石（Blossom Rock），亦仿此法為之。

第十章 蓄水池

河水流量增加與河槽深度之關係 造蓄水池以節制河道流量，亦為改良低水位河槽以利通航之一法。主張此說者，蓋視河水深度與流量之關係，與在人造水槽中者相同，如增加流量，則深度隨之增加。然細考之，此僅在河槽穩固處為然耳。

前已述及，當河水極低時，深潭中之流速頗小，不足以侵蝕河岸而致傾坍。當流量增加時，深潭處之流速較在暗沙洲處之流速增加為疾，旋即有充分力量冲刷河槽。所刷起泥沙，大部分淤積在下方暗沙洲上，提高其頂部。如在與密士失必河相類之河，逢某數種情形時，其暗沙洲面提高度，可等於水位提高度之一半；但此非謂當低水位流量永遠增加時，河中暗沙洲上之水深，定較通常算得之水深增加一半。考當河水漲時，暗沙洲頂部所以不能提起過高之故，不外河槽之提高遠不及水位變化之速耳。當河水漲至極高時，泥沙淤積之速尙未能與之相應，而河水已轉而低落，又起冲

刷作用矣。

如當某種水位時，流量不變，則河中暗沙洲繼續提高，終至在深潭之末端，生成阻水之壩。於是暗沙洲上流速減小，不復有冲刷作用；易言之，即深潭中與暗沙洲上流速之關係，恰令從深潭刷起之物質與越過暗沙洲者分量相等。是以如低水位流量永遠增加，結果僅使深潭中水深大增，而暗沙洲上之河槽未見有多大改良也。試舉例以明之，密士失必河在聖保羅 (St. Paul) 處之天然低水位流量，約為每秒鐘二、五〇〇立方英尺，其最大洪水流量約為每秒鐘一〇〇、〇〇〇立方英尺，而其傾斜度約為每英里〇·四英尺。當未經用整理河槽法處理時，河中低水位深度，在深潭中約為一〇英尺，而在數處暗沙洲約為一英尺。當其受支河之水而增加低水位流量時，河槽中深度，逐漸增加。當低水位流量增加至每秒鐘約二、五〇〇立方英尺（即與極大洪水流量相等），而傾斜度仍為每英里〇·四英尺時，深潭中之深度增加至約一〇〇英尺，但某數處暗沙洲上之深度則祇有四英尺。在上游河槽中，當洪水時之深度已逾九英尺，而在下游河道中雖流量不變，欲保持此項深度，則非藉浚渫法不為功也。反乎此種情形者，則有穩固河槽中之水流，其深度之變化，

乃與流量之變化相當，如美國聖馬利河之尼比士水道，是其例也。

密士失必河之蓄水池 用蓄水池以改良河道，美國密士失必河曾試行之。在水源地造有蓄水池六處，蓄水約九七、〇〇〇、〇〇〇、〇〇〇立方英尺，計能在聖保羅處維持每秒鐘五、〇〇〇立方英尺之低水位流量。原來計畫，擬造蓄水池四十一座，但從已成者所得結果觀之，未能滿意，故不復繼續進行。

當初估計蓄水池增加低水位流量之結果，將使在聖保羅處之水深增加二英尺，而在聖保羅與不平（Peplin）湖間五十二英里之河道，水深亦當有顯著之增加。然此段河道，原曾用整理河槽法改良，藉護岸以防河岸傾坍，而暗沙洲上之河槽，俱有適當方向。是以增大之水流，實不能離正道而為害也。

過不平湖以下，低水位流量雖增，而水深則未加於舊。此不僅因河道之原未改良，蓋別有故。平湖原能調節河道之低水位流量，其效力與所造蓄水池正同；故造池後，不能再見若何功用也。

自行整理河槽法後，河槽深度已儘量增加，欲再加深，不得不另行設法，故造蓄水池增加低水

位流量，以圖遂所願。然雖以密士失必河水源地之情形，頗合於造蓄水池，而結果卻未能如所預期之順利，蓋池水之蓄洩，不僅與通航有關，且時時須顧及農田灌溉與水力事業等，遂不能盡依河流情形爲準也。

別種蓄水池之利用 在世界各處，爲發展水力或防止洪水而建築之蓄水池，間有可以利用之增加低水位流量，而使河槽深度加大者。如在美國鄂大瓦（Ottawa）河及其在坎拿大境內之支流上所造蓄水池，是其例也。

第十一章 防水隄

造防水隄之原理 沿河造隄，限制洪水，藉以改良低水位河槽，此法之成效如何，爲工程界研究多年之問題。在洪水時河水流速，較在低水時大三十倍至五十倍，其流速至少可增加至兩倍，是以河水之能力，當可增加自八十倍至二百倍不等，然大部分隨洪水之泛濫而消耗。說者謂如建築隄防，束水於河槽之內，則當洪水時水力因少消耗而覺加大，其在低水位河槽中之沖刷作用，當甚強也。

此說亦屬持之有故，言之成理，蓋隄防之足以增加洪水時河水之能力，固無可疑。例如密士失必河下游，自開羅至維克斯波格 (Vicksburg) 間一段河道，當未築堤時以先，在維克斯波格處之最大流量約爲每秒鐘一、〇〇〇、〇〇〇立方英尺，及築成隄防，今時河中流量可大至每秒鐘二、〇〇〇、〇〇〇立方英尺也。

利用洪水之困難。但約束在河槽中之水流，是否能爲有用之工作，則爲未決之問題。欲求其有用，不僅當使水力增加，且使水流遵循適當之方向。假若河水在高水位時及低水位時，循同一河槽流行，則流量增加時，將令曲線處河岸坍塌，而使直線處暗沙洲提高，故河中深處愈深，淺處亦愈淺。

但欲造隄防，逼洪水循行低水河槽，在事實上不能辦到。何以言之，如此則隄防必須臨水，難免傾坍。若將隄防置在離河半英里至十英里之處，則當洪水期中，水流之徑路卽不能與在低水時相同。偶有數處，當洪水時之冲刷情形，與當低水時之冲刷情形相合；但在別處，則當洪水時所冲刷者，乃爲低水時露出水面上之沙灘，而淤積之地，則爲低水時之深潭也。

昔人多主張裁彎取直，保持整齊之傾斜度與深度，爲改良河道適當方法；謂隄防能改良低水位河槽之說，卽承此論而來。向使低水位河槽，實能如此改良，則增加低水位流量，自應能使低水位橫剖面積擴大。但低水位河槽之有曲線段，既不能免，深潭及暗沙洲上之傾斜度且必須保持，而曲線段與直線段之深度又定當有別，此理甚明，遂可知隄防能改良低水位河槽之說未可信矣。

一八八二年原定之多腦河改良計畫，係造隄防以限制洪水之流行，不出於河槽以外，藉此以改良低水位河槽情形。後已舍棄此法，容水流屈折自如矣。

現時歐洲治河之法，無復有恃洪水流量以改良低水河槽者，洪水來時，隨卽容其散去。因此之故，改良河槽之設備，所具高度，可以儘量減小也。

第十二章 防禦洪水

第一節 總論

總論 研究防禦洪水問題，當先知河水之作用隨地段而別，有沖刷作用獨盛之區，有淤積作用獨盛之區，有沖刷作用與淤積作用並行之區。三區中防禦洪水問題，各不相同也。

第二節 沖刷區域之防禦洪水

造林 在山坡上，雨水有洗去浮泥之勢，是宜用森林保護之，蓋土壤中布滿樹根，則不易坍塌也。原有森林之處，如伐去之後，仍補植新林，舊樹根留在土中，尚可保存多年，不即朽爛，以待補植之新林長成。如開闢森林地為農田，便恐不免致大害；因山坡流水，洗去地面腐植土，則土壤由肥沃化

爲礮瘠矣。

種草 地上種草，足代森林之用，尤以根株在近地面處橫長者爲甚。但土壤因草根之糾結而得緊密，須歷長時日，非可速成；而在沙土地域，大雨降時，如草根尙未結合，每被沖去也。

耕地成槽 於山坡地耕成橫槽，與傾斜度成直角相交，此法對於尋常小雨，可阻其沖刷作用；如對於暴雨，則無效矣。

分地成臺階 如將山坡造成臺階之式，且用水管導雨水自上而下，可使沖刷作用，大半避免；但此法費用甚大，故僅在有特殊情形時用之，如在人口甚密，地價甚高之處是，尤以使用灌溉法之地爲有利，蓋灌水入田，則必將田地分成平坦區域也。

第三節 淤積區域之防禦洪水

造隄 在淤積區域，防禦洪水之工程，常重在保護谷中低地，不使有山地沖下之沙石散布其間，致土性由肥沃變成礮瘠。爲此之故，常建築防水隄，使水流約束在較窄河槽之中，俾其餘之地不

受水侵。若是，則在地面傾斜度自峻急轉至和緩之處，即山坡與低地之交，恆起淤積；欲使流水不散逸，則必時時加高隄防，或時時清除淤積之物質亦可。日本琵琶湖周圍，所造隄防，年年加高，在微細溪澗旁之隄，往往有甚高若不與之相稱者，此因防暴雨之侵，溪水盛漲，不得不用高隄也。淤積之物質，常爲小塊卵石，如近地造路，用之頗宜，則年年採取之，爲一舉而兩利備也。

澗口築壩 保護谷中低地，別有一法，即於澗道之口築壩，使山水所挾物質，棄置於壩之上游，不隨流下行。惟壩上空地，易於填塞，故須時時將壩加高，或另行添設。在薩克蘭緬多(Sacramento)河之衆支河，用水洗法採取砂金，即依此法築壩，以防沙石沖入谷中低地也。

用水洗法採取沙金，乃以管導水，射於山坡，水受高壓，沖刷沙石，流入淘金槽，迨採取金質以後，廢棄之沙石，則洩入鄰近溪河。如在薩克蘭緬多河，昔時採金所棄沙石，流入衆支河中，漫無限制，河水之沖刷作用與淤積作用，自地質時代以來，造成均衡狀態，至是乃遭破壞，而幹河中生成巨大之沙波矣。

沙波向下移行之速度，約爲每年四英里。沙波中毫無滋養植物之物質，因之逢洪水時，陸地經

沙波漫過，則土質變爲礮瘠，禾稼不生。沙波之頂部，阻塞河槽，使洪水來時，當地水面增高。沙波對於河中船舶往來，亦有阻礙。其爲害乃不僅一端。然沙波實爲天然之妙用，蓋藉此以使河道冲刷作用與淤積作用之均衡狀態，得以恢復也。

人工設施有害於河道之問題 說者謂人工之設施，有害於河流之天然狀態者，不僅淘金棄沙石爲然，如砍伐山地之森林，如洩去臨河地段之積水，以便墾植，如建築隄防等，皆使河水在原有淤積區域外，起淤積阻塞之現象，特其影響有輕重之不同耳。爲辨明河道是否確有此種情形起見，在歐洲美洲，俱有學者從事實地研究也。

然此問題實乃一最難之問題。欲決定河中某處之冲刷或某處之淤積，是否由於永存之原因，或僅爲觀察時偶然之現象，非有長時期之觀察不爲功。緣河槽之橫剖面，隨沙波之移行，而時有變化也。欲知某時某處河水之漲落，究爲雨量變化所致，抑爲河槽橫剖面變化所致，亦不可得一斷語。緣一地之雨量，雖以十年爲一期，計其平均數，猶見其變化無方，而關於河中水位與流量關係之變化，又常無充分之記載可考也。

多年以前，普綸涅 (Prody) 氏曾發表一說，謂波河因建築隄防，而使河底提高，須另造一河槽，以免臨河之地，遭重大水災。當時意大利工程師已有疑其說者，近年意大利學者，更不信之。獨屈費兒 (Cuvier) 氏嘗採普氏之說，後之學者，頗有讀屈氏書而承其緒論者，蓋未知在普氏以後工程界中所作之種種研究也。

衛克斯 (Gustav Wex) 氏於一八七三年至一八七九年之間，先後發表論文，謂匈牙利及奧大利諸河，因境內森林被伐之故，河槽增高；但此說為哈根 (Hagen) 等德國工程師所駁，謂舉證不足，且謂河槽縱有些許變化，諒是施於河道之整流工程所致，與森林之斬伐及隄防之建築無關。

近年工程界研究所得學說，亦分兩派，與此相似；然辨析諸家之所致力，則知研究大河者，不見斬伐森林或排洩積水有令河道惡化之象，而研究山中急流者，乃得河槽淤積之證。蓋一派所研究者，為河中沖刷作用與淤積作用保持均衡狀態之段，一派所研究者，則為淤積作用獨盛之段也。舉波河言之，實為良好之例，蓋在其發源於阿爾卑斯山之數支河，有填塞河槽之象可睹，而在幹河，則

絕無此種作用也。

考一河之淤積區域，蓋有儲蓄之作用，暫時留住沙石在內，使其相磨相軋，由粗化細，直至能被河水挾帶下行而不破壞，水流自地質時代以來造成之均衡狀態爲度。人之破壞工作，比於天然之成就，細小已甚，故雖非毫無影響，卻不可以計量也。美國、德國、俄國諸工程師，研究大河之現象者，得有相同之結論。惟彼觀察所及，僅限於山地河流者，始見有河槽填塞之例。然在德國工程界，則雖森林所加於小河之影響，亦未爲人所信矣。

我國黃河當改道時，常見舊河之底，高於新河，說者或以此爲建築隄防使河底提高之證，實則不然。此現象乃沖積河流所常見，蓋沖積河流藉其沈澱之作用，原能自行造成河岸，且使愈近河之地爲愈高。沖積河流在河口因所挾泥沙沈澱，生成三角洲，侵入海內。如此經過地質時代，可使其長度大增，雖在河口處之傾斜常甚緩，然竟可使在三角洲上端處之河底，高於原來之地面也。

建築隄防，使原來淤積於河岸處之多量泥沙留於河槽之內，自令入海之淤積物質增加，而使河道之增長加速，但其傾斜度因此所致之變化極緩，可以置而不論。然如在水漲時，河岸潰決，則河

水將在河外低地，造成新河槽也。

尤有進者，如河水之大部分，洩出河槽以外，則本河餘水之流速將大減，而致舊河道淤積甚速，或竟使其中暗沙洲之頂部，高於低水位表面以上。是以如有人在河岸潰決之後，旅行其地，而未知當年變化情形，或將謂水面大為降低，較實在降低之量為多也。

河道之左右彎曲，有時變成環形，偶然採取捷徑，裁去一彎，則在上端處急速降低與上述潰決處相似，而曲線段中，因水流被阻不入，亦起多量淤積。如美國密蘇里河，在一九一六年洪水時，裁去一彎，至一九一九年時，舊河槽之上端處，高度已在平水位之上矣。

此種變化，令河道之傾斜度改易，因之水流欲恢復其原有均衡狀態，則必在數處沖刷，在數處淤積，乃能有濟。河道傾斜度之足以致河底之變化，其影響蓋較防水隄為大也。

第四節 沖刷兼淤積區域之防禦洪水

總論 在河水之沖刷作用與淤積作用未保均衡狀態之處，實為最須防禦洪水之區。何以言

之，在此種區域中，從沖積河道之淤積泥沙而生成之土壤，常極肥沃，利於耕種。是以其地人煙稠密，設逢洪水，不僅傷害禾稼，且淹沒人畜，爲害滋烈也。

在沖刷兼淤積區域內，防禦洪水，令不成災，方法有下列數種：

- (一) 避水地，
- (二) 造林，
- (三) 蓄水池，
- (四) 節流池，
- (五) 擴大河槽，
- (六) 改直河道，
- (七) 出水道，
- (八) 餘水門，
- (九) 防水隄。

其利弊不等，以下各段，依次述之。

避水地 初民之世，避水之法，不外堆土成高邱，於洪水來時，移居其上，待水退爲止。如當地受水時，常不在農產收穫之時，此法不無利益，蓋不僅可免危害生命，且田地受水能增加肥沃，非洲尼羅河流域，年年容水漫入兩岸農田，極有利益，故在河上特有設備，以使河水之漫溢充分也。

河旁地域之防禦洪水程度，每上下不同：有當保護嚴密，使即在最大洪水時，亦全不被水淹者；有僅爲部分保護，所築隄防之高度有限，至洪水面高至某度時，即能漫至岸上者。來因河流域，有作部分保護者，因容水漫之區域加大，故其隄防之高度已稍減。如河道發生最大洪水時，係在農作物生長之期中，則常須全防水淹矣。

造林 造林能減小洪水之說，主張之者頗多，然未盡可信。此說之大概如下所述。考在植物生長期中所降雨水，大部分爲植物吸收以供滋養之用。如在洪水最盛時，能將此量提出，則洪水面高度，理當大減。說者又謂森林落葉，積於地面，成腐植土，有吸收多量雨水之能力；樹根能使土壤疏鬆，易於吸收地面之水；森林能阻礙地面之水流；森林掩蔽積雪，便不受日光照射，因之積雪不致驟融，

與雨水一齊歸河；森林有使一年中雨量平均分布之作用，使引起洪水之暴雨減少。論者以爲小亞細亞地方昔日爲沃壤而今日成沙漠，其故端在剷除森林，堪爲明證。

然若細考生成洪水之原因，則上說未足憑也。試爲辨之。植物生長時所吸之水分，大部分係其根株從土壤吸收。故此非地面流水，實爲先時滲入地下水；其及於河流之影響，乃減少由泉源所得之流量，即低水位流量，而非減少洪水流量，蓋甚明矣。

腐植土之吸水雖較尋常土壤爲多，然其入地不深，則蓄水之量，亦自有限，雖尋常雨水，猶不能盡容，況暴雨乎？故腐植土對於供給低水位流量之小雨，確有留蓄之能力；然對於發生洪水之大雨，則失效矣。

樹根使土壤疏鬆之說，乃與事實相反。凡耕過之地，較森林之地吸水爲多。樹根穿穴土壤，令土壤益加密實，且阻土壤吸水之流通。森林之阻礙地面流水，爲害爲利，視兩對面山坡之流水是否同時流至谷底爲準。如霖雨不止，則森林之阻止水流，殊不足以增減洪水也。

森林對於雪之影響，極無準則。此年之影響，可爲使雪化水減緩或使其加速，以不與暴雨之水

同時下流。次年之影響，或恰爲相反，而使雪水與雨水同流。凡此皆視冬末春初之氣候而異。雪見日而消融，極爲緩慢，僅此所得之水，不足以致洪水。如日光使雪在暴雨之前融化，設因受森林之影響而延緩，則其作用實爲有害而無利。然森林中雪之融化，並不定較在無樹木處之雪爲緩。降在林中之雪，均布於地面各處；降在荒山坡上之雪，受風所吹，有積成大堆之趨勢，每在森林中雪融後始消。又如雨雪齊降時，在無樹之處，每卽凍結，成爲不吸水之地面；若在森林中，則雪珠霑於樹木枝葉，地面不至凍結，以後降雨時，較易吸水也。

森林對於雨之影響，尙未精密測定，惟有森林處與無森林處雨量不同，固屬甚明。但引起洪水之暴雨，所具最大降雨量之徑路，原與地面草木之狀態無關。蓋地面山脈之分布，對於雨量乃有較大之影響，山坡之地，無論有無森林，總較低谷受水爲多也。

敘利亞地方近年之變成不毛之地，論者多謂由於灌溉設備荒廢所致，而非由於森林之破壞。然卽承認應重行造林之說，則欲免洪水，必須將目前之全部農田，全行植樹，其地將不能容留現存之人口矣。且林木斬伐以後，開墾農田，自有別種植物代之，如種植果樹，其吸水之量，未較橡樹林爲

遜，如種植禾穀，其吸水之量，猶較松樹林爲多。然則即使復行植林，其無補於轉換土質，蓋可見矣。

蓄水池

防禦洪水之法，有主張建築蓄水池者，將暴雨時過量之水，儲於池中，待河水低時，緩洩之。湖泊原有自然調節河流，遏止洪水之作用，其例甚多。此法即師其意，然實際上若有若干難點，不可不知。欲求功效之大，自以設池於幹河中爲宜。然幹河之沖積區域，常極肥沃，爲農業興盛之處，地價甚高。如建築足以遏止洪水之大池，則占地至廣，所費極巨，在經濟上有不能辦到者。故不得不就諸支河之水源區域，地質稍賤之處，分設蓄水池。池數既多，復因各處降雨量多寡不均，如今年此段支河中降雨最多，明年此段支河中降雨或少，而別段支河中降雨卻多，故不得不分別儲備各支河中最大流量，以適應之。如在幹河設池一座，雖較兩支河之池之合并容量爲小，然能適應前後兩年之情形也。

蓄水池必設在支河之水源區域。如在大河，對於幹河下游廣大區域所受雨水，仍無從施以調節之作用。否則必在地價昂貴之處，建築多數蓄水池也。

且即使設蓄水池於山地，猶不能不限制其容量，以求省費。如欲將一區域中一年之雨水全行

儲蓄，則蓄水壩必異常之高矣。

防禦洪水之蓄水池，每經一次大雨之後，必須將池水放洩，以備下次大雨之臨。因此之故，其池遂不便兼供發水力之用。蓋用蓄水池發水力時，須使池中常滿，以俟河水之降低，俾池水之高度，能常保持不變。當池已滿後，再有多餘雨水，應隨時放洩，然此與用池遏止洪水之旨相違。但如將池水放盡後，所防之大雨未必至，則此時以後，蓄水池不復能利用於發水力矣。

如山地所造諸蓄水池，因各處雨量之不均齊，對於河流之節制，僅有一部分之效力，則尚有一種危險，即當池水洩至下游時，若其他未受節制之諸支河適屬盛漲，則幹河水面愈增高矣。嚮使山地諸河，未曾有蓄水池爲之節制，則其過量之水，或且早已流過，而不至與下流諸支河之水合并也。

如用蓄水池以節制全部河流，其處置更非易事。每經一次大雨後，必須使諸池之水面降低至預定高度，以備下次大雨之來，又必須使每池洩出之水，不溢至本河岸上，又必須使諸支河合并之水，不溢至幹河岸上。然下次大雨之來，究在何時，其雨量如何，俱無從預測，故究應如何洩水，不能計算定之。因此在美國近來不用蓄水池而用節流池 (retarding basin) 矣。

節流池 節流池者，係於谷口造壩，壩下開孔，故河水低時，通行無阻，河水暴漲時，則受其限制，僅容預定之流量下行。當發生洪水時，包括在節流池中之地面，受水淹沒，較未設池時為深；在下游谷中之洪水面，則較前為低。因池水一俟河水落時，即行放洩，故池內地面之淹沒，為時頗暫，雖不能播種五穀，仍可利用以作放牧之草地。是以取節流池與同一容量之蓄水池相較，則節流池之地價較省也。

擴大河槽 減低洪水面高度之別一法，為擴大河道之低水位橫剖面。此法之成效如何，視河水中浮游泥沙之量而定。在沖積地域之河道，低水位河槽之形式，隨沖刷作用與淤積作用伸縮之情形而異。兩種作用之均衡狀態，經擴大河槽所擾後，仍有恢復之趨勢，故當時時浚深，以維持擴大之河槽也。在冰川地域之河道，河槽頗為安定，故在擴大以後，能常維持之，而洪水面高度，亦得長期降低矣。

改直河道 減低洪水面高度之別一法，為將河道改直。惟此法僅在所開直線段之下端係接於湖泊或強潮港灣時，方屬有效。如所開河槽在河道中部，則使本段上端之水面減低，而下端之水

面卻增高矣；結果但移易洪水發生之地點耳。

出水道 減低洪水面高度之別一法，爲添開出水道。此法有害於低水位時之水流均衡狀態，因在低水位時，宜使流量充分豐富，以維持低水位河槽，然無論河水高低，出水道則洩水不息也。由出水道洩出之水，又當防漫溢，而須沿出水道建築隄防，如此所費每較加高正河隄防以容全部流量者爲巨。然如在水道之徑路中，適有湖泊數處，則因其有減低洪水面高度之作用，而出水道之隄防可不高，因之全部隄防之建築費可省也。

在沖積地域河道，另開出水道，尙有一不宜之點，頗關重要。凡河流由一道分歧爲兩時，兩水道中之流速有異；流速小之水道中，因淤積作用盛而縮窄；流速大之水道中，因沖刷作用盛而擴大。是以所開出水道，或爲淤積，或爲沖刷，視其中流速與幹河中流速比較如何而定。如出水道有淤積之趨勢，祇可用浚濬法治之。如出水道有沖刷之趨勢，則慮其變成幹河，而致舊道淤塞。

餘水門 減低洪水面高度之別一法，爲開餘水門。此乃在隄防上造一水門，適使漲起過高之水，由此洩出；但不似出水道之有害於低水位河槽也。在餘水門下方之河槽，亦當建築隄防以免流

下之水，漫入鄰近地域。在此河槽中，亦似在出水道中，每有淤積之趨勢，而須時時浚深也。

防水隄 防禦洪水之法，最通用者，莫如建築防水隄。自古時即已用之。此法最大之缺點，在將過量之水約束在河槽以內，因令洪水面增高。工程界中，頗多謂洪水量，既集中在河槽內，則能擴大之，終可免除此項缺點者；然在有隄防之諸河道，作長時期之考察，而有以知此說之未可信，蓋河槽橫剖面之因此而變化，進行甚緩，殆不足計也。隄防之高度必須充分，以起所需之沖刷作用，否則將被水沖毀，而不能生效。隄防建築以後，河槽再行擴大，祇不過令隄防益加安穩而已。

河隄之拒水功用，雖與蓄水池之壩相同，然其形式及建築方法，則與蓄水池之壩相異。築隄時為節省工料起見，不得不就地取土，難如建築土壩時之造成密實心牆。土隄雖能不滲水，然常築在滲水之基礎上。滲過之水，必須設法阻止，使其減少，以免隄之上下有乾濕之分，而起滑動。滲過隄防之水，又不可容其流行過速，致洗刷隄身或隄底泥土，而起危險；因此隄防之向陸一側傾斜度，必較蓄水池土壩之傾斜度為和緩。至於隄防之實在尺度，則視當地情形而異也。

在美國密士失必河下游，不及十二英尺高之隄防，高度常較估計之最高洪水面加高三英尺；

在頂部之寬度，常爲八英尺；向陸一側傾斜度，爲豎一平三。較此爲高之隄防，須將隄之底部加寬；常於向陸一側，當隄頂十八英尺處，加造踏步一條。隄寬自二十至四十英尺，隨隄高而異。隄頂之傾斜度爲豎一平十，以便瀉去雨水，向陸一側傾斜度則爲豎一橫四。

依此所造之隄，底部之寬度，大於水在地下滲流之源頭高度，約在十倍以上。此較築於滲水基礎之上土壩所應有之比例爲略小，因河水漲至極高時，爲期甚暫，與土壩之長期阻水者不同。如當水漲時，隄內有涌沙現象，則應增加踏步之寬以止之。

隄防向河一側，普通用豎一平三之傾斜度，而種植短草，卽足以抵抗雨水及河流之侵蝕。如隄防受河中波浪之衝擊，則須使其傾斜度益加和緩，或於隄側另加三和土層之類以保護之；隄頂及向陸一側，仍行種草，以防泥土散落。

在歐洲所築之隄防，隄頂之寬約與密士失必河隄防相同，其隄側之傾斜度，則較峻急；此因歐洲習慣，常於隄頂砌成道路故也。美國式隄防用土較少，其踏步處如用作道路，亦頗相宜也。

建築隄防時，有一要點，卽在向陸一側應有洩水溝，以免在隄滲過之水，流入附近農田；有害禾

稼也。

建築隄防之法繁簡各別，簡單者爲用鐵鏟之屬取土，繁費者爲用汽機鏟取土或用水力式滾溼機取土。關於用費方面，重要着眼之點，爲隄防之高度。隄防短而矮者，以用人工爲宜；隄防加大，則利用獸力，較爲合算；如密士失必河下游之大隄，則以用造隄機器爲省費矣。

如隄身距河濱甚近，又不過高，則以用水力吸筭式滾溼機從河中吸起泥土爲宜。在薩克蘭多河及密士失必河上游多用之。

第十三章 河道感潮部

第一節 潮水

總論 河水在入海處，感受潮水之影響。潮水之力常較河水之力爲大。在海洋中心，潮波之作
用不顯著，故水面之升降較小。在近岸處，潮波之振動增加，且傳入海股，歷程頗長，水面升降，少者有
如在墨西哥灣中爲十四英寸，多者有如在不列顛羣島沿岸爲二十八英尺，最多者有如在芬地灣
(Fundy Bay) 中爲五十英尺。在河口處，水面緣河水下流而成之傾斜度頗微，常較每英里○·一
英寸爲小。當落潮時，河水外流增速；當漲潮時，不僅河水之外流被阻，且常有海水逆流而上。因鹹水
較淡水之密度爲大，故當某時期中，海水在河底內流，而河水則浮在海水之上而向內流也。

在聖羅凌士 (St. Lawrence) 河，潮波上傳遠至三百五十英里，速度爲每小時行八十三英

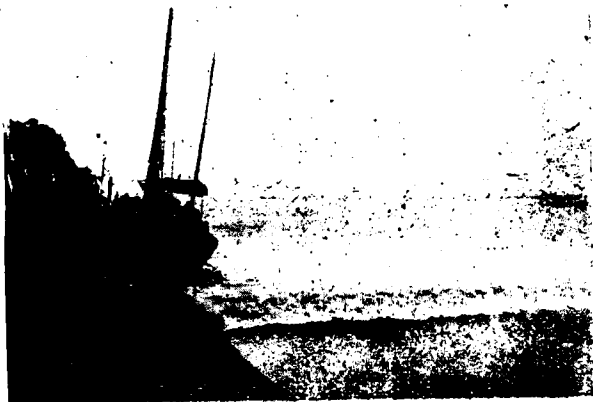
里。墨西哥灣之潮波雖弱，然其傳入密士失必河中，亦能遠至三百英里也。

潮波之高度 潮波在河中之高度，不僅隨海潮之高度而異，亦視海股之形式而異。如河道入海處成漏斗形而頗寬，則潮之高度大為增加。在聖羅凌士灣中，潮波高度自三至四英尺。在魁北克 (Quebec) 處，潮波高度自九至十八英尺。泰晤士河中，當漲潮時，在倫敦橋處水面較在河口處水面高四英尺。然如河口狹窄，則潮波高度減小。入折撒比克 (Chesapeake) 灣之諸河口俱狹，故河中潮波高度俱減也。

潮波之速度 潮波傳遞之速度視水深而異。在海洋中心，其速度約為每小時六百英里。當潮波行近海岸時，振動增加而速度減小。在一百英尺深處，速度不逾每小時一百英里。在河道中，因有暗沙洲等之阻礙，潮波速度益減。在森河之口，其水深為五·九英尺，潮波上行之速度為每小時九·八英里。如在水深為一七·七英尺處，則潮波速度增至每小時一六·四英里。

潮頭 潮波之生成主要原因為水之壓力。潮波之傳遞，與洪水波在無潮河中之傳遞相似。潮波之速度與河水之流速無關。河水之流速乃隨水面傾斜度及河水所受之能而異。若潮水之流速，

則雖在潮波之高度甚大處，亦罕逾每小時五英里。偶有速度甚大者，則在潮波之傳遞受阻礙時見之。如在河口生成暗沙洲，則海中潮水漲起之速，遠勝於河內，故在暗沙洲上之水面傾斜度頗急。潮水爲暗沙洲所阻，則生潮頭 (tidal bore)，乃在表面翻騰疾行之大波。我國錢塘江口之潮頭，最爲顯著，在二十英里中，水面傾斜度可有每英里一英尺之大，其表面速度可有每秒鐘二十英尺。在拍替科狄阿 (Petit Codiac) 河入芬地灣處，所生潮頭，高五英尺四英寸，速度有每小時八·四七英里。除此兩例以外，他處江口，亦有起潮頭者，大概在朔望潮中見之。如在江口暗沙洲上有一深水槽，則潮頭可甚微。



第三十八圖 錢塘江之潮頭

或竟無之。在潮水所及之處，河流受其影響而常有變化。當漲潮時，河水之外流被阻，一時停止。以後則海水內流，由微而盛，由盛而衰，復至於無，是爲漲潮期；過此以後，潮水外流，是爲落潮期。無論在漲潮時或落潮時，水流以在半潮時爲最速，卽半漲或半落之時也。

潮水對於河流之影響 當漲潮時，海水入河，與淡水相抗，逼其逆行；河水之流量，時時增加，故海水之上流，將不能甚遠；然因海水鹹而重，河水淡而輕之故，海水下沈，河水上浮，分流無礙，待海水與河水混和始止；至此海水雖不再上行，然其運動之力，傳於所阻之水，影響所及，直至河流勢強不復受遏之處。密士失必河發生洪水時，流量甚大，故不僅潮水不克入河，且河水注入墨西哥灣中，離岸甚遠，尙能不與海水相混。因漲潮時有阻遏河流之作用，而落潮時則有助長河流之作用；故在落潮時，河口流出之水，乃較漲潮時爲多。漲潮之時間，與落潮之時間，亦復差異。在大海股之口，漲潮之時間約爲五小時半；落潮之時間約爲六小時半。漲落時間之相差，隨地點離河口之距離而增加，又隨河口淺窄對於潮波抵抗力而增加。

感潮部中泥沙之移行 河水因受潮水之影響，故其流入海中，乃時進時止，當落潮時流速增

加，常漲潮時，流速減小。在河水被阻遏時，則所挾泥沙有淤積之趨勢，當河水被吸引時，則淤積者復有沿水底行動之趨勢。又海水內流時，挾有沿岸泥沙送入河中，此項泥沙亦在河口通潮區域內時時上下移動也。

河道中泥沙移行之情形，在上游無潮部分及下游有潮部分，迥不相同。在無潮部分，大部分泥沙，係永遠浮游於水中，或成爲沙波，沿水底滾動，而小部分係暫時浮游於水中。在有潮部分，因潮水較重沈在河底之故，所有泥沙與水相混，尤爲密切；大部分間歇浮游於水中，小部分成爲沙波在河底滾動。其自上游來常時浮淤於水中之泥沙，行至河口乃隨潮水而行；潮漲則退，潮落則進；漲潮落潮之間，水停不流，則淤積在河底。如潮波因故受阻，泥沙乃積成暗沙洲焉。

第一節 河道感潮部之修治法

原理 治理河道中無潮水影響之段，始在容其紆迴自如，曲處爲深潭，直處爲暗沙洲，而上有刷深之河槽，然此法不能施於治理河口受潮水影響之段。蓋在上游無潮水之段，直段中須有暗沙

洲，乃能保持深潭中之水深，而避免上下游暗沙洲之過淺而有害。如在下游有潮水之段，造成永遠之暗沙洲，不僅妨礙通航，且阻止潮流，而影響及於別處之河槽。潮水漲落不息，故在河口無論何處，不能有永遠不變之傾斜度。暗沙洲使本處之水面傾斜度加峻急，因之別處水面傾斜度遂有小減者。河道彎曲，不僅令下方生成暗沙洲，且逼水流改變方向，而妨礙潮水之流行。在彎曲河道中，漲潮時與落潮時水流之徑路有相異之趨勢，因之在每一徑路中水停不流之時間加長，而泥沙因之淤積。結果使河口水流縱橫雜亂，有害正流也。

是故整理河道入海之處，宜力求河槽之直，如不得不用彎曲段時，須令其弧線甚為和緩。如潮水內流之量，遠逾河水外流之量，則須以潮水內流之量定河槽之深度，且當使其不受妨礙。是以自潮流所及之處，以至河口之間，所有河槽，應逐漸擴大，與潮水流量成比例也。

倘在河口欲阻潮水內流，如英格蘭島上慰坦 (Witham) 河在流入波士頓 (Boston) 港處，設洩水門以防海水倒灌，則漲起有害之河灘。蓋內流之潮水受阻而減其速度，於是水之靜止時間加長，水中所有泥沙俱沈澱，以後潮水落時，其力乃不足以刷去之。尤有進者，潮水之受阻，影響甚

遠，或竟使河口處暗沙洲之情形益加惡劣。於此乃得一要義，即潮水上行，務須任其通流，愈遠愈妙，河中所有阻礙，悉宜除去，以使水之靜止時間，減至極短也。

無潮河之地質情形，與水流大有關係；在有潮河，此種關係尤著。凡河道入海之處，如兩岸有山，其海中泥沙之移動不劇，故河口得以較深。如河道入海之處，海岸俱係沙灘，則河口便有沙洲暗伏矣。

縱隄

如河道入海處，水面頗寬，而河岸參差不齊，主要河槽可以繚曲而時有遷移，水淺不便通航。逢此情形，宜沿岸造縱隄以整理水流，隄間距離減至與潮水流量相應合，如是可令水之靜止時期減短，且免各處水流之參差。此法有益於通航，雖其縮窄水面，減小感潮部能容潮水之量，然使深度增加，亦足以資彌補。因在半潮時之流量為最大，過此或漲或落俱漸減小，故所設整流隄，可不過高，但須能引導落潮之下半部分水流而使之集中，或足以造成所需通航之深度；而漲潮之上半部分水流，則可容其流至隄後，以免減小感潮部能容潮水之量。然如河槽極繚曲而甚易變遷，則須造高隄矣。

如有暗沙洲橫攔河口，則減少感潮部收容潮水之量，殊屬有弊。須使減少之量愈少愈妙。因此之故，有謂宜在高出半潮上之縱隄外，再造高出漲潮上之縱隄者，但在實地建築上，不能依此行之，因在兩隄間之地位，必須造成自內隄逐漸升高至外隄之傾斜度，否則內流潮水漲至半潮以上時，突然橫流，將引起漩渦作用，而有害於潮流之直行也。

感潮部不適用橫隄 無潮河整流工所最通用之橫隄，在改良河之感潮部時不甚相宜，因其引起漩渦，且使潮流延緩或加速，而令暫時浮游於水中之泥沙有淤積之趨勢。尤有進者，潮流或者隨漩渦繞橫隄之末端而進行，生繚曲之徑路，不成所需之直線，難於通航；不僅繞橫隄之末端在河槽之中，生成沙灘而已。美國維基尼阿（Virginia）省阿坡馬托克斯（Appomattox）河乃有潮之河，當初改良河道求便通航之工程，係仿德國式整理無潮河之法，造若干斜向上游之橫隄。隄成後，河槽變為繚繞曲折，深流線初近此岸，繼近彼岸，而河槽中央之水深，反較未造隄前為小。其後用縱隄連結諸橫隄之末端，於是河槽中央之水深增加，方得滿意之結果。

淤填法 泥沙淤積於暗沙洲上後，附貼漸加密實，欲沖刷之，其水力須較當初移運時之力為

大。是以用整流法以修治河道之感潮部時，如用浚深法以爲之助，當有大利。在無潮河中，生成暗沙洲之原因，每次水漲時，俱得重見；然在河道之感潮部中，暗沙洲上之河槽一經開深，祇須其方向能與潮流之天然方向相符，則泥沙淤積之原因，即已除去，而浮起之泥沙並不定欲在原處沈澱也。

如能使河槽之橫剖面之增加與潮流之增加成正比例，則河流能助落潮時潮流以維持槽中深度。然在感潮部之上游處，河槽常須有若何深度及寬度，以便通航，然爲兩岸地勢所限，不能依此擴大河槽，以至河口。例如河岸爲懸崖時，自不能不採用寬度一律之河槽，否則所費將極巨。如此則在上游處水之靜止時間加長，而有淤積之趨勢，造成暗沙洲，因之不能不時施行浚深矣。

克來德河之修治

克來德 (Clyde) 河堪爲遵循正理以整理有潮河之一美例。此河原爲連結格拉斯哥與克來德海股間之一小河，自格拉斯哥至克來德河口格臨諾克 (Greenock) 處，計程二十一英里。在格拉斯哥河中水深，落潮時約爲一英尺半；當朔望潮時，河中漲潮深度約爲三英尺半；在克來德灣處，朔望潮水深約爲十一英尺。

原來之整理計畫，係在格拉斯哥求得在上下弦潮中之河中漲潮深度爲七英尺。法爲於河中

暗沙洲最繁處造防沙隄令河面改窄，藉以洗深河槽。第十九世紀之初，開工造雜石低隄，在格拉斯哥港處兩隄間水面寬一百八十英尺，向下逐漸擴張，至寬六百九十六英尺爲止。據一八三五年之一報告，當時港中落潮時河水深度爲七英尺至八英尺，在朔望潮時河中漲潮深度爲十五英尺。

厥後商業日盛，船舶加大，故河槽必需擴大，遂定在格拉斯哥港之河面寬度爲四百五十英尺，港之下方近處爲三百七十英尺，逐漸增加至離河口六英里處爲一千英尺。所生效果，係使在格拉斯哥處之落潮時水深降下八英尺，而在漲潮時水深增加至三十英尺。尋常時漲潮水深，在第一次治河時降下約六英寸，第二次治河時增高約九英寸，故以今時與一七五八年時相較，則爲提高兩三英寸也。

第十四章 河口

第一節 海波

海波 在河口處，不僅漲潮落潮使海水生波，使海水流行；而風吹海水亦起運動。

海波之高度 在河口處，海水之生波上下與流行進退，不僅爲潮所使，且隨風而動。在海之中心，由潮所致之海波，高度僅自〇·七三英尺至一·九五英尺；而在大風時之海波，有高至四十英尺者。海岸附近，水淺有沙灘，潮力所生海波至此加高，而風力所生海波至此減低。潮力所生海波，在海岸處，復因風行方向之順逆，而增高或減低；在漲潮時與落潮時，俱有此現象。風力所生海波，雖入淺水而漸衰，然如傳至河道入海之處，適逢其河面逐漸向外加寬，其水又深，則海波高度亦能急增，與潮力所生之波相似。

決定流入河口潮水之量，及河隄應具之高度，須以海波之高度爲準；而決定河隄應如何穩固，則須以海波之振動情形及所生之力爲準。

海波之振動 水受風吹時，表面之水分子，即起振動，依圓周旋轉，是以成波。波之高度，即等於圓周之直徑。是以水分子之運動，在上半部行程，順風之方向，而在下半部行程，則逆風之方向。在水面下之分子，亦起相似運動，但因水分子有摩擦阻力之故，旋轉之圓周直徑減小甚速，至在波底以下，相離僅等於波之高度處，振動即行消滅。水面之形狀，成爲擺線式，順風之方向，而向前轉行。

海波之形狀 淺水盪漾生波時，水分子逆風之運動，爲水底泥沙所阻，其振動之徑路，遂易圓形爲橢圓形。波之形狀更近於擺線，而在某一深度處，波頂乃成擺線之尖頭式也。

如水更淺，則水底之阻力抑制水分子之逆行，直使其上半部順風之運動，不能自行調節而與之相副，波遂分裂，上半部乃另成一波流於下半部上矣。

海波之力 波之高度與長度之比例，視風之歷時長短及力量大小而異，然爲解說起見，可假定波長約爲波高之二十五倍。波之傳遞速度，自每秒鐘二英尺至一百英尺不等，視風力而異。以海

水之浩蕩無涯，受激成波，若有防波隄阻之，其壓力之大，從可想見。若海波恰在觸隄之前，分成碎波，其壓力化爲巨大之打擊力，蓋水之爲物，受壓不縮，不能吸收壓力故也。因水之分子被阻不進時，能互相滑動，故雖在碎波，其打擊之力，仍有一部分消耗於摩擦之中，而不能推算其分量。如海波之分裂，離防波隄處尙遠，如觸及岸外暗沙洲，則其力亦分散，而暗沙洲之於隄，遂有保護之作用。用儀器以測定碎波之壓力，在每一平方英尺有逾六千磅者；然此數之準確與否，尙未可知耳。

海波之破壞防波隄

波力之巨，觀防波隄所受損傷可知。在白特海德 (Peterhead) 之防波

隄，置於水面下自十七英尺至三十六英尺處之三和土塊，每塊重四十噸，有被海波推翻者。當普里穆斯 (Plymouth) 防波堤建築之時，重七噸至九噸之大石塊，置於隄之外側向海處，低水面上，被海波推動，越過隄頂，而落於內側，行程竟有一百三十八英尺之多。在威克 (Wick) 之防波隄，隄頂高出高水位上二十一英尺，曾有巨石兩塊，一重八噸，一重十噸，被海水送上隄頂；又有三和土塊兩塊，一重一三五〇噸，一重二五〇〇噸，俱被推移。在繆易登 (Ymuiden) 防波隄，隄頂高出高水位上五英尺，曾有重二十噸之三和土一塊，被波力向上舉起十二英尺之高，而置於隄頂。在比爾波亞

(Bilbao) 防波隄，曾有重一千七百噸之三和土一塊，被海波推翻。

當海波觸及豎立之防波隄時，一部分之水被激，騰空直上頗高，當其落下時，不僅重擊隄頂，且重擊水面，其力傳至隄基，或竟破壞之。

海波對於海灘上沙石之影響 當海波正行向岸，爲傾斜之海灘所阻，而分裂時，其上半部分滾至灘上，待力竭乃止。於是復向下行，愈退愈速，及遇相繼上升之波，乃降於其下，相背而行。海水翻騰，影響及於灘上沙石，前進之波挾之上升向陸，後退之波挾之下降入海。逢海波恰具某項高度及速度時，海灘在某一高度處，受來去海水所沖洗，而成頗急之傾斜度。被來水沖洗之沙石，堆積於水止不進之處；被去水沖洗之沙石，則堆積於灘脚而成岸外暗沙洲。如此受水力作用之海岸，將具有頗急之傾斜度也。

逢潮水減小或海波降低時，此項岸外暗沙洲，可復爲向岸海波所沖洗，而其泥沙被推向岸邊。於是沖洗作用與淤積作用，交替進行；當強風向岸吹時，海岸被沖洗，當強風向海吹時，則海岸復淤積焉。

當海波斜行向岸時，其分裂後之波頂，沿岸進行，其水之復歸於海，不由原路。於是沿岸所洗刷之泥沙，乃隨風吹之方向而進行，復受同時所生海流之影響而增其勢。如沿海岸有障礙物，則流沙被阻，堆積在其向風之一側。在障礙物內方，仍有沖刷作用，因障礙物阻流沙前進而補沿岸所洗刷泥沙之缺，故在海岸外有障礙物之處，海岸之傾坍反較盛也。

河口暗沙洲之生成 如此流動之泥沙，當其接觸河口水流也，在漲潮之某時期中，隨水上行；在落潮某時期中，隨水下行；但在其餘漲潮落潮時期中，則起淤積，成爲暗沙洲，橫攔河口；如河水挾泥沙下行，則此暗沙洲得因之增大。河水及落潮時潮水，在暗沙洲上沖刷成較深之河槽；但因暗沙洲時時受沿岸流沙而增大，河槽向風一側遂不斷淤積，而河槽逐漸橫移。遇海中風狂波高或河中發洪水之時，水力充足，在暗沙洲上洗出遵循正流之河槽，乃得恢復原狀。此後舊槽再淤積，而新槽又漸橫移。如一年之中，風多依某一方向，則河槽之橫移，近於有定；在暗沙洲上有河槽兩處或數處，一處開通時，則餘數處淤塞。潮水所挾能力，卽在此數處河槽上耗散也。

第二節 改良河口法

計畫改良河口時應注意之事項 計畫改良河口水道之工程，當知一年中風向之變化，以何向之風爲最常見；當知風非盡有定向，又當知水流屢有與常見之風向相反者，此種水流挾帶泥沙，但爲量較少，亦淤積在河口。不僅此也，海岸之地質如何，爲石抑爲沙，其外有無掩蔽，是乃海波能力大小之所繫，尤當辨明之。如海岸屬沙灘，偶然起風成波，激射海岸，所刷起之泥沙，或者甚多。如海岸屬石壁，或岸外有島嶼掩護，則雖常見之強風所生海波，其刷起之泥沙，反較少也。

改良河口工程之分類 改良河口之工程，隨河口暗沙洲生成之材料而別爲三種。第一種以河流所挾泥沙爲主。第二種以沿海岸移動之泥沙爲主。第三種則兼具上述兩種本原。

如河水挾帶泥沙甚多，流入潮水漲落不大之海，則泥沙淤積在河口，而逐漸向外擴張，河水在所成暗沙洲上刷出水道數處。當洪水時，淤積泥沙益多，漲至海平面上，於是每一水道，各成一河口。其水道間之沙地，名曰三角洲，如密士失必河，尼羅河，多腦河，及倫河之口，俱有之。

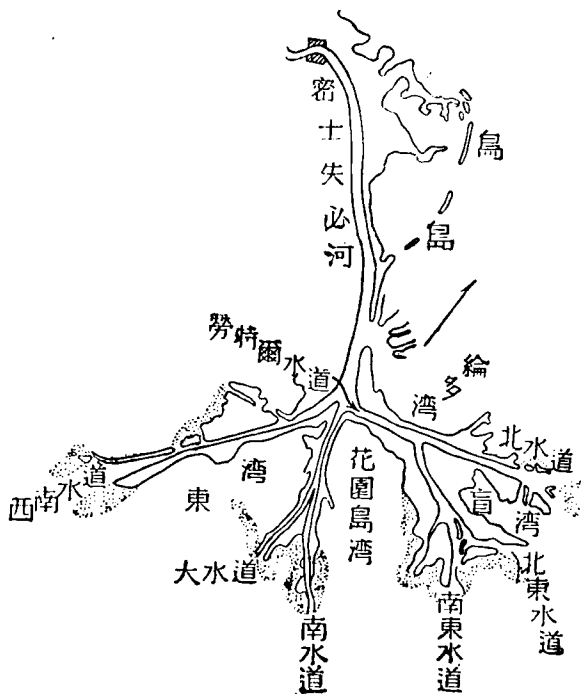
又有一類之河，在

河口外遠處有流動之暗沙洲，與海岸成平行，有數處或露出水面。河水所挾泥沙，淤積在其內，而河水則越過其上之水道，流入海中。美國得克薩斯省及北卡羅來納省之河俱屬此類。

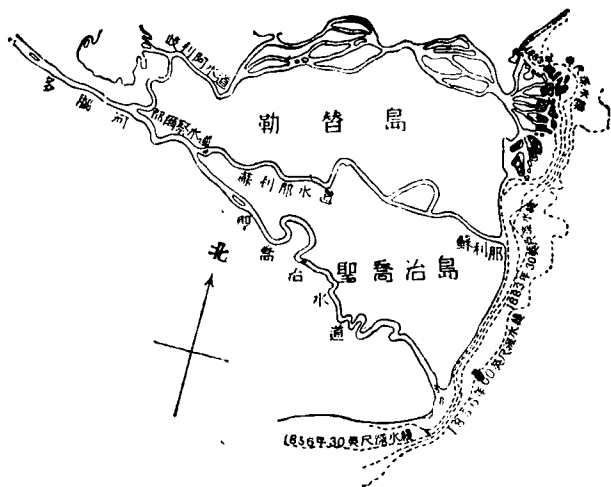
有海水平常漲落

不大，然時或因遇強風

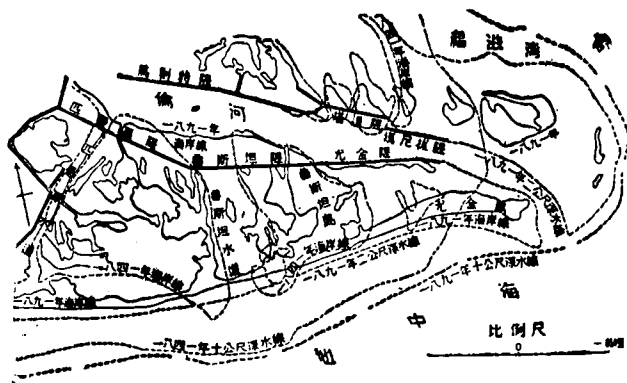
而致潮水之量大增者，於是上述暗沙洲內水面之大小，乃與暗沙洲水道之深度大有關係。暗沙洲



第三十九圖 密士失必河口



第四十圖 多腦河口



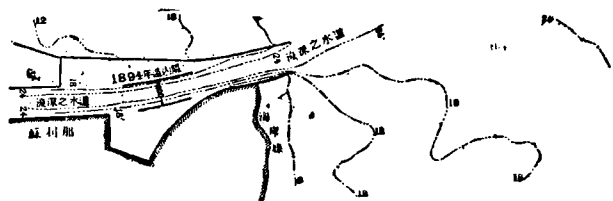
第四十一圖 倫河口之修治

內水面，可依河流方向而向河口伸長，則成爲河道之感潮部，暗沙洲則可爲河水所挾泥沙及沿海岸泥沙兩者淤積所成。

有三角洲之河口之改良法 河道如分由數口入海，耗失水力，無一口能較深。故改良此處河口之一法，即爲集中水流於一口中，而閉塞其餘各口。此法暫時可見效，然因所有泥沙均經行此水道，結果在此水道之外，新生三角洲，與舊日情形相似。新三角洲上亦將有若干處水道，經時既長，又當加以整理矣。

有時潮水之漲落雖小，然風吹海水，沿岸流行，其力頗大，能使河水運下之泥沙，隨水移動。如風之方向，常近於與海岸平行，則起沿岸海流，令三角洲上諸水道中之與此沿岸海流成直角者，所具向海傾斜度，較之其餘斜行入海諸水道之傾斜度爲急。是以如擇此向海傾斜度最急之水道改良之，使河水聚於其中，然亦不使過量，而僅令其中水深足度，則沿岸海流能挾帶所洩出泥沙之大部分而去，而暗沙洲向外擴張之速度遂可減小；其餘諸水道仍能洩出多量之水與泥沙，遠離所改良水道之口，而不至被沿岸海流送至其處淤積以擴大暗沙洲也。

因有上述理由，故改良多腦（Danube）河口時，乃選擇流量不及全河流量八%之蘇利那水道（Sulina Pass）行之，而改良密士失必河口時，乃選擇流量僅得全河流量八%之南水道行之。蘇利那水道原寬約三百英尺，而南水道原寬約六百英尺。計畫中，在多腦河口暗沙洲上開深二十英尺；在密士失必河口上，開深三十英尺。使河水聚流於暗沙洲上之法，係依水道之兩岸延長，築造平行之防沙隄兩道，伸入海中，直至水深與所需深度相同之處。多腦河蘇利那水道兩隄間距離為六百英尺。密士失必河南水道兩堤間距離為一千英尺，但另造長二百英尺之橫隄與水道兩岸成直角，使寬度縮成六百英尺。在兩例中，所需深度，俱經造成，而暗沙洲外移並不急速，故不時延長防沙隄以維持水深，其費不多。在密士失必河南水道外，偶有大風擾亂沿岸海流，令暫時生成暗沙洲，若單恃河流冲刷之力，固可恢



第四十二圖 多腦河口蘇利那水道之修治

復原狀，然未免滯緩，故須行浚深也。

密士失必河南水道在暗沙洲上之部分既已加深，故其全部亦經加以擴大，期與相副，而其流量遂增至全河流量之一四%。當初在水道盡頭處尙須施行浚深，以保持三十英尺之深度，但今則須用隱檻及縮窄水道之工事設備，以限制入此水道之流量矣。

密士失必河南水道既經改良以後，新奧爾良之商業大盛，遂須在河口造成三十五英尺深之水道。雖南水道原可擴大，使流量加多，以在暗沙洲上冲刷如此深度之水道，然因其兩岸伸入海中，極爲狹窄，且屬沖積土質，易爲河流海潮所侵蝕，若再將水道放寬，則在洪水之時，將有令兩岸潰決之虞。欲防此弊，須將南水道兩岸全施護岸之工，則所費甚巨。因西南水道流量原有全河流量三分之一，故在一九〇二年之計畫中，遂擇爲改良之水道，以求在暗沙洲上得三十五英尺之深水。其初因省費起見，造向外縮窄之縱隄，隄間距離在接陸處爲五千六百英尺，在暗沙洲上爲二千八百英尺，用浚深法以維持其中之水深。其後覺浚深之工過費，故於一九一六年，改定計畫，另造平行縱隄兩道，距離二千四百英尺也。

南水道與西南水道長度不同，因之河水海潮，每令水道中時或淤積而改變其傾斜度及橫剖面，頗懼流量之分配難以保持得當。蓋在一河并沿口兩水道，此種工程並無先例可資參考也。

側渠

倫河之全部流量，祇由一水道洩出。在此河口，暗沙洲之漲起甚速。因之所造防沙堤須常時延長，維持之費至巨。故不得不開側渠一道，另謀出路，以便通航。如此類之側渠，常須於通河之處，造船閘一座，以應合河水之漲落，於是船舶往來，不得不耽延矣。

浚渫法

如河道入海處，有逐漸擴大之感潮部，潮流之方向與河流之方向相合，則潮流能在河口維持一道深水道，無須用人工改良之。如泰晤士 (Thames) 河，頗陀馬克 (Potomac) 河，及詹姆士 (James) 河，皆屬此例。在此類河口，偶有水流生成暗沙洲，然易用浚渫法剷去之，使不復生，如在美國紐約港中之暗沙洲，是其例也。

平行防沙隄

有時河口爲地勢所限，不能逐漸擴大，又有沿岸海流，運送泥沙，致使潮流不能自行沖刷便利通航之深水道。於是須將水道縮窄，使潮流聚於其中，乃可在暗沙洲上維持所需之深水。

此種工程，常用平行防沙隄，如在加來斯（Calais）、東喀基（Dunkirk）及俄斯坦德（Ostende）等港是。諸港原位於小河之口，河水流量未能與其感潮部之形式相副，港口漲起暗沙洲，當潮落時，洲上水道極淺。自商業興盛以後，需較深之水道；改良之法，係造平行之防沙隄，越過暗沙洲，引起潮水之沖刷作用，終得較深之水道。惟沿岸海流逐漸推動泥沙，倚防沙隄而淤積，海岸乃擴張至隄之末端。於是暗沙洲逐漸向外遷移，而潮水亦挾帶泥沙內流，漸使港內淤塞也。

蓄潮池 河口感潮部因淤積而縮小，則入河潮水流出時之力減小，故即再將防沙隄延長，亦不能在暗沙洲上維持深水道。為增加潮流起見，有造蓄潮池之法，留蓄內流之潮水，池口有水門阻之，至落潮時，驟然啓門，增加流勢，以起充分之沖刷作用。在此諸港，使用此法，得保持狹窄之水道，供河中小船往來行駛，但不能容大汽船出入也。

外斂式防沙隄 在查勒士敦（Charleston）及加爾維士敦（Galveston）等處所用外斂式防沙隄，聚水刷沙頗著成效。外斂式防沙隄者，兩隄間距離不一，乃自岸起向外方暗沙洲，處逐漸收斂。於是將所包括暗沙洲之部分，括入感潮部範圍，增加其面積，遂成位置適當之蓄潮池，增加

潮水外流之量。因此之故，沿岸移行之泥沙，不淤積在隄外兩側以令海岸擴張，乃隨海流沿隄外行以入深水處，直至隄之末端以外，或遇潮水激盪，則浮游在水中，待到深水處始行沈澱。惟行此種改良河口方法時，造隄必須急速，乃能有效，又在暗沙洲上須用浚渫法開成水道，得全部深度，以便潮流沖刷；蓋潮流作用，能直抵河底，而潮波作用，常不能十分深到也。若僅恃兩隄以刷深暗沙洲上之水道，則有使暗沙洲外移之趨勢，而不能在其上得充分之深度，以造成適度之潮流矣。

單防沙隄 偶逢沿岸移行之泥沙，多依一道方向進行，則祇須造一道防沙隄以維持水道之深度。在非爾角 (Cape Fear River) 河口，沿岸南行之泥沙，造成長暗沙洲一道，為後方水面之屏障。北行之泥沙，則為量無多。將暗沙洲上之水口阻塞，又防止別處新生水口，則河水聚流外洩，但施浚渫之工，即能維持水道之深度。

防沙隄受海波衝擊不及防波隄之劇 河口防沙隄所受海波之打擊，常不及港中防波隄所受之劇烈，此因沿岸移行之泥沙造成傾斜甚緩之沙灘，海波觸之，即行分碎，到隄之時，力已將竭故也。

無潮河口之防沙隄，在無潮河口，所淤積者，常爲顆粒極細之河泥。如將造隄亂石逕直堆積其上，則下陷甚劇。爲防此弊，須先下柳枝繫成之厚重柴排，以作基礎，上造亂石之隄身。在隄之末端，受海波之衝擊較重，常用巨大三和土塊，代亂石構造也。

