

年

卷

期

15

1

第

第

水利

泥沙專號

第十五卷 第一期

中華民國三十六年十月
中國水利工程學會發行

中國水利工程學會第十一屆職員表

董 事 會

董 事	沈 怡	沙玉清	邢丕結	王華棠	林平一
	劉鍾瑞	何之泰	李書田	黃文熙	宋 澎
	彭濟羣	胡品元	楊保璞	張 任	李賦部
董 候補幹事	徐宗溥	張昌齡	嚴 愷	陳克誠	

執 行 部

會 長	須 愷	副 會 長	沈百先
總 幹 事	朱士俊	幹 事	方元龍 何學孟

特 種 委 員 會

圖 父 實 業 計 劃 水 利 建 設 研 究 委 員 會	主 任 委 員	沈百先			
	幹 事	劉啟祐			
會 員 委 員 會 出 版 委 員 會	主 任 委 員	雷鴻基			
	主 任 委 員	譚徐泰			
	委 員	汪胡楨	徐世大	張 任	方宗岱
		戴 祁	周宗達	嚴 愷	張瑞瑾
		李文邦	吳沈紀	胡鳴時	劉方輝
	幹 事	吳志成	陳宏德		
水 利 工 程 標 準 委 員 會	主 任 委 員	茅以昇			
水 工 名 詞 編 訂 委 員 會	主 任 委 員	張書震			
徵 集 水 利 文 獻 委 員 會	主 任 委 員	李書田			
人 才 介 紹 委 員 會	主 任 委 員	張含英			
技 術 咨 詢 委 員 會	主 任 委 員	孫輔世			
基 全 監		陳湛恩	孫輔世	劉夢錫	

中國水利工程學會各地分會會址及負責人一覽表

分 會 名 稱	會 長	副 會 長	通 訊 處
長 沙 分 會	何 之 泰		長沙湖南大學轉
桂 林 分 會	孫 廷 整		桂林廣西省水利林墾公司
天 津 分 會	徐 世 大		天津六區台兒莊路海河工程局轉
南 京 分 會	陳 湛 恩	朱 士 俊	南京甯海路九十一號
廣 州 分 會	李 文 邦	余 文 熙	廣州白雲路珠江水利局
上 海 分 會	汪 胡 楨		上海南京西路國際飯店吳雙寅先生轉
東 北 分 會	彭 濟 羣	董 文 琦	瀋陽水利部東北特派員辦公處

水利

第十五卷第一期(泥沙專號)勘誤表

本期專號因排印倉卒，故外誤殊多，本表僅就其尤著者摘要校勘，以免誤解本意。幸祈著者及讀者鑒宥。

頁	行	誤	正	頁	行	誤	正
封面裏	6	候補幹事	候補董事	59次序27	第13柱	1/425	1/4125
目錄	2	7	129	59次序34	第13柱	1,1255	1,1.25
6	17	U u	U+u	59次序38	第19柱	6,426	0,426
7	9	uW	uw	60	4	第10柱 (公里)	(公厘)
8	7	\int_0^t	\int_0^T	60	4	第12柱 (百萬立方公尺)	(百立方公尺)
9	7	$\frac{1}{k} \log_e \frac{v}{u_c}$	$\frac{1}{k} \log_e \frac{v}{v_{r_0}}$	60次序40	第4柱	Puentein	Puentes
11	附註	T. Vou Korman	T. Von Kai man	60次序41	第4柱	Avignoun-	Avignoune
12	末8	(33)	(23)	60次序49	第4柱	Perclles	Perolles
14	表4	水面以下深度	水面以下深度	60次序61	第12柱	—	1,095
15	3,e之指數	以計	以呎計	60次序71	第3柱	SouthPecolet	South Pecolet
		$-15 \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} (\zeta - \zeta a)$	$-5 \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} (\zeta - \zeta a)$	60次序73	第3柱	Pen	Pen
17	3	> 70.3	> 0.3	60次序79	第3柱	Cuek	Creek
17	表7下	$\frac{W}{\sqrt{ghs}}$	$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$	61次序70	第18柱	085.7	0.857
20	表9	安慶九江既水時之 $\frac{v}{ghs}$ 3.6	5.6	62	1904年第8柱		加22.2
25	11	50%	5.0%	62	1906年第8柱	22.2	取消
31	15	60年	70年	62	1910年第8柱		加34.5
37	末行	克勤(H. Kvev)	克勒 H. Krev)	62	1911年第8柱	34.5	取消
38	10及11	2mm	0.2mm	62	1911年第19柱		加0
38	19	為進行根本	為進行本文	62	1912年第19柱	0	取消
41	表(四)第			69	6	15	15%
41	14縱行第	12.20	12.70	69	7	15	15%
45	2縱行第	28,000	$> 28,000$	70	末1	讀者以	讀者勿以
45	1,6兩列			71	末6	$S = (2 \times \log_{10} Q \times 1000)$	$S = \frac{1}{(2 \times \log_{10} Q \times 1000)}$
45	表(七)	第6縱行1,2,3,4列數字須向下移半格，同行5,6,7,8列數字須向上移半格，以後各行數字與第6縱行數字對齊		71	末1	粘滯係數	粘滯係數
46	22行	38+32=60年	38+32=70年	75	第8式	或 $\sin \theta = \frac{F}{W}$	或 $\sin \theta = \frac{F}{W}$
48	11	高七區域	黃一區域	78	圖五註	虬	虛線
49	20	19億立方公尺	19.5億立方公尺	82	3(下同)	上所統	上新統
58	4第12柱	(百萬立方公尺)	(百立方公尺)	83	13	400公里	4,000公里
58次序	12第4柱	Com	Coon	83	14	堆積33210	堆積了3210
58次序	16第4柱	Sterlingpob	Sferling Pool	84	14	$28 \times 10^8 m^2$	$2.8 \times 10^8 m^2$
58次序	27第3柱	Tish	Fish	84	15	3.8×10^8	3.8×10^8
58次序	30第3柱	Bosque	Bosque	84	末9	平原黃河	黃河平原
59次序	11第20柱	5,85	58.5	84	末5	12-1648	12-1048
59次序	1a第20柱	一	15.7	84	第5節	距海90公里	距海30公里
59次序	1a第21柱	以後挾攜	以後歷年洪水挾攜	84	末1行	乃是以後	乃是東漢以後
				85	3	年/(公尺)	(公尺/年)
				85	表	2100B.C.	2300B.C.
					年數第一行	1880	2080
					延伸率第一行	20.4	18.4
					總計延伸率	60.1	57.9
				86	1	2100B.C.	2300B.C.
				87	10	堆積3933	堆積了393
				87	21	$12 \times 10^8 cm^3$	$12 \times 10^8 m^3$
					末	80公尺寬	80公尺寬

頁	行	誤	正	頁	行	誤	正
88	2	$13 \times 10^{18} m^3$	$13 \times 10^{12} m^3$	129	1	8小時	80小時
88	末17	Wuvvm冰期時	Wuvvm冰期後時	130	(3)式	$(1+Loge \times)$	$(1+Logez)$
88	末16	900-7400	7900-7400	130	(6)式	$t = \frac{C}{\sqrt{\tau} \cdot l \cdot \rho}$	$t = \frac{c}{\sqrt{\tau} \cdot l \cdot \rho}$
	末14	7400-4220	7400-4200	134	6	D小於08	D小於
	附錄末3	7-116	7-8	134	7	.05~0.0	.05~.08
94	末5行	$\overline{\tau}$ 與 $\overline{\rho}$ y	$\overline{\tau}$ 與 $\overline{\tau}$ y	137	方法(3)	沖瀛法	沖瀛法
101	第四表(頭)之下數次	159 6.1	159 0.6	140	末5	(Sk-Sw)	(Sp-Sw)
	3列			140	末3	SW=1	Sw=1
	倒數第4列	2.6	2.0	140	末3	W=1.606W	W=1.606w
	倒數第3列	685	526	141	3	凡65種	凡56種
	末列	27	20	141	13	長16吋	長16呎
101	第四表(華縣)下數字第1列	748 17.7	7480 17.7	142	末5	大於0.6m, m	大於0.06m, m.
	第六表(頭)之下末第3列	685	526	142	末4	0.6m, m	0.06m, m.
103	末列	14 80	18.40	145	4	四種	二種
107	4行	其中45%入海	其中45.2%入海	148	第六表(5.欄4行)	.2348	.3258
109	(2)式	Sv=6.√3.89	Sv=6v.87	148	第六表(6.欄8行)	3.30	3.33
114	4	舊北	舊址	149	末1	磅/年立方呎	磅/立方呎
114	10	東水	東水	150	第九表表頭	量/公尺 ³	噸公尺 ³
126	末8	四五磅	四十五磅	150	第九表末行	52.9	52.8
117	23	二時四分之一	二時四分之一	150	第十表表頭	R, R, R	K, K, K
121	25年藕池口輸沙量	1820	1870	151	12	磅立方呎	磅/立方呎
122	32年東江輸沙量總流量		加29	180	4	等	及排水情況等。
122	點關河名	澧水	漁水	180	9	(γ_e')	(γ_e)
128	23	(6.64公尺/秒)	(0.64公尺/秒)	180	11	(γ_e)	(γ_e')
129	第五(b)圖	總時間:八小時	總時間:八十小時	180	末5	土之含水量	土壤之含水量
				181	2	w''=w'	w''=w'γ
				181	6	土在	土在

頁	行	誤	正
181	10第17式	$\gamma_e'' = \gamma' - \gamma w = \gamma w(6-1)$	$\gamma_e'' = \gamma' - w = \gamma w(G-1) \dots \dots \dots (17)$
181	末5	$S = 1 = \frac{n'}{n}$	$S = 1 = \frac{n'}{r}$
183	4		加 空間比(air Space Ratio)
183	9		加 3. Theoretical Soil Mechanics by Teszaghi, 1944
185	3	l	e
186	5 第二項	$\frac{G}{(1-\alpha)(1-n') - \omega G}$	$\frac{G}{(1+\omega)(1-n') - \omega G}$
188	14 第十一項	γ_{ee}	$\frac{\gamma w + \gamma e''}{\gamma \omega - \gamma e'' \omega_{max}}$
188	16 第十三項	$\frac{\gamma \omega + \gamma e''}{\gamma \omega - \gamma e'' \omega_{max}}$	$\frac{Gs \gamma \omega - \gamma e'}{\gamma e' - \gamma \omega}$
189	5 第四項	$\frac{Gs \gamma \omega - \gamma e'}{\gamma e' - \gamma \omega}$	$\frac{Gs-1}{1+GsW_{max}}$
189	7 第二項	$\gamma_w \frac{Gs-1}{1xGsW_{max}}$	$\frac{\gamma e' - \gamma e}{\gamma \omega - \gamma e' + \gamma e}$
189	10 第四項	$\frac{\gamma e - \gamma e'}{\gamma \omega - \gamma e' + \gamma e}$	$\frac{\gamma e'}{\gamma e'}$
189	末8 第四項	$\gamma \omega \left(1 + \frac{1}{\omega_{max}} \right) - \gamma e'$	$\gamma \omega \left(1 + \frac{1}{\omega_{max}} \right) - \gamma e'$
189	末7 第四項	$\frac{\gamma e'' + \gamma \omega}{\gamma \omega - \gamma e'' \omega_{max}}$	$\frac{\gamma e'' + \gamma \omega}{\gamma \omega - \gamma e'' \omega_{max}} W_{max}$
189	末6 第一項	$\gamma \omega \left[\frac{n}{W_{max}} (1-n) \right]$	$\gamma \omega \left[\frac{n}{W_{max}} - (1-n) \right]$

水 利

第十五卷 第一期

中華民國三十六年十月一日

泥 沙 專 號

目 錄

封面：	頁
陝縣茅津渡黃河兩岸冲刷情形（水利航測隊攝）	
泥沙專號代序：	
泥沙問題之範圍（譚葆泰）	1
理論介紹：	
懸移質理論介紹（范家驊）	6
異重流及水庫減淤（李煥）	23
水庫淤積問題：	
於三門峽建築攔洪水庫淤積問題之初步研討（張瑞瑾）	31
日人對於黃河泥沙及築庫淤積之見解（劉方堉）	48
水庫內泥沙之淤積（蔣彭年）	50
渠道冲淤問題：	
陝西省灌溉工程對於泥沙之處理（劉鍾瑞）	67
平衡渠道斷面形式之研究（范家驊）	71
河流冲積問題：	
華北平原的生成（丁驥）	80
黃河沙量質疑（張含英）	89
黃河泥沙冲積量之分析（張瑞瑾）	93



永定河之泥沙(徐世大)	108
海河口大沽沙淤澱概況(薛觀瀛)	114
長江含沙量之測驗(那維壹)	120

泥沙之測驗及分析：

河濟泥沙測驗方法之研究(陳椿庭)	124
泥沙分類命名之商榷(沙玉清)	1
土壤基本物理性質之關係(蔣彭年)	129

水利新聞：

水利部改組完成	1
各流域水利機構改組成立	1
洛惠渠及潯惠渠放水	2
鴛鴦池蓄水庫落成	2

啟事：

總幹事啟事	3
出版委員會啟事	3

泥沙問題之範圍

譚 葆 泰

泥沙問題之範圍

泥沙問題研究之成果

研究泥沙問題之方法與項目

泥沙問題之範圍

水利工程之泥沙問題，廣義言之，指水與泥沙混合所發生之一切問題。水與泥沙之混合，由於其混合比例之不同，影響其性質而區別其研究範圍。

乾燥之泥沙呈固體狀態，顆粒互相接觸，空隙間乾燥無水，是為水與泥沙混合之最高極限。泥沙滲入少量水份，其空隙間部份充水，就黃土而言，當其含水容量百分比如為24.2時（水之容量與混合體總容量百分比），則混合體呈半固體狀態，受外壓力時緊縮而變形，例如築土堤壩之情形。設再增加水份，使含水容量約達百分之28.0泥沙顆粒仍互相接觸，其空隙大部份充水，則泥沙呈塑體狀態，搓捏可以變形，如捏製土器。設含水容量約超過百分之40.7，則含水之泥沙呈半流體狀態，可以流動，如河道兩岸之新淤，當水位急速降落時之向下滑動。半流體狀態之最高含水量，相當於泥沙之顆粒鬆疏互相接觸，其空隙間完全充滿水份，就黃土而言其含水容量約為百分之57.5以上所述泥沙與水混合比例之泥沙問題，概屬於土壤力學之範圍。

設更增加水份，使泥沙與水完全混合，則泥沙之顆粒互不接觸，成為懸移體或渾水，是為水利工程所稱之狹義之泥沙問題。懸移體之含沙最高限度為泥沙顆粒鬆疏互相接觸，空隙間完全充水，與半流體之含水最高限度情形相同，即含水容量為百分之57.5。如以通常應用之含沙重量百分比計算，（含泥沙重量與渾水重量百分比），並設黃土之比重為2.724，則相當含沙重量百分之67，是為渾水含沙之最高限度，至於其最低限度則為零。

渾水之泥沙懸移於水中，泥沙顆粒具有重量，其能懸移於水中而不沉澱者，是必水內有上向之紊流以頂托之。當水流為急流或靜止時，上向之紊流等於零，極微細之泥土，其顆粒小於0.0002公厘者，仍可浮游於水中，係由於水本身份子具有「布朗」運動（Brownian movement），衝擊微細之泥土顆粒，使其懸移於水中而不沉澱，該項研究，屬於膠質化學範圍。

狹義之泥沙問題指上述懸移體之範圍。泥沙與水之混合，係由於水流冲刷泥沙，懸移（挾帶）於水內，又每遇流速和緩時，復行沉澱。故研究泥沙問題可分為冲刷，懸移與沉澱三部份，均與水利工程，有密切之關係。

與冲刷有關者如水土保持工作之地面逕流之冲刷，溝壑之冲刷，土壤之冲刷，土堤岸坡之冲刷，攔河壩冲刷開前淤沙與沉沙渠淤沙之冲刷，減洪水庫淤沙之冲刷，以及導治河流清濶港口之束水

攻沙等問題。

與懸移有關者包括水流挾帶泥沙所發生之問題，如水流挾沙之能力，水流挾沙之飽合點，水流挾沙對於冲刷淤積之關係等，均與一切挾帶沙土之水流有關。舉例言之，如挾沙水流對於水工建築物(堰，壩，跌水，涵洞，虹吸管，洩水閘等)各種係數之影響(洩水係數，摩擦係數等)。

沉澱為水流挾沙超過飽合點之後果，水利工程與沉澱有關者如河道或渠道水流挾沙之沉澱問題，攔洪或減洪水庫之沉澱淤積問題，水工建築物丁壩順壩透水壩之落淤問題。

茲將沙泥(黃土)與水之各種混合比例之研究範圍列為下表

	含水量 百分比	含沙重量 百分比			
泥沙顆粒互相接觸 空隙間完全乾燥無水	0	100			
泥沙顆粒互相接觸 空隙間部份充水	24.2	85.0	縮性限度	固體 半固體 塑體 半流體 點 移體	土壤力學範圍
	28.0	83.1	塑性限度		
	40.7	77.4	流性限度		
泥沙顆粒互相接觸 空隙間全充水	57.5	67.0	浮性限度或飽和限度		
泥沙顆粒不相接觸 空隙間全充水					
清水	100	0			

渾水含沙之最高限度
 泥沙顆粒 大于 0.0002 厘米
 小于 (公里)

冲刷問題
 懸移問題
 沉澱問題
 泥沙問題範圍
 膠質化學範圍

泥沙問題之研究成果

介紹泥沙問題之研究成果，就冲刷，懸移與沉澱三部份說明之。事實上冲刷與沉澱為懸移之一環，並無確切之分界；但為簡明計，分述如次：

冲刷問題 綜合冲刷問題之研究，可以分為三項：

- (一) 清水與不含凝聚性沙礫之冲刷問題。
- (二) 清水與含凝聚性泥土之冲刷問題。
- (三) 渾水與沙礫或泥土之冲刷問題。

關於第一項之研究，由於水工模型試驗選擇模型沙礫之需要，自1932年以來，各家致力較多，並已獲致相當之成果，對於各種組合，比重，形狀之沙礫的臨界推移力，及推移量與水流因子之關係，均由試驗予以確定，可以定量的計算冲刷及推移情形。

泥土具有凝聚性，與懸散之沙礫不同。關於清水與含有凝聚性泥沙之冲刷問題，即水流推移力與泥沙之凝聚力，顆粒組合，密度等準確關係，尚未獲致有系統之研究成果。

渾水對於泥沙之冲刷問題，與水流挾沙有關，泥沙之懸移問題，本身尚待研究確定(詳後)，本問題尚懸而未決。

目前穩定土渠之設計，多採用 Kennedy, Lacy, Lindley 諸之氏公式，指承含泥沙水流應具有

流速，使渠道不冲不淤，更進而闡明渠道應有之寬深比例，以達到穩定狀態。諸氏之研究，係根據印度及埃及渠道測驗結果，指明水中所含泥沙顆粒之大小對於穩定渠道之關係，而忽略最重要之水流含沙量多寡之影響。以陝西涇惠渠為例，涇河之含沙僅屬黃土，涇惠幹渠之引水，當河水含沙量小於百份之十五時，幹渠暢流無阻，含沙量超過百份之十五時，渠道行淤塞，故含沙量實具有決定性之影響。Kennedy 諸氏之研究結果，可視為經驗公式，只符合與印度相似之情形，未能普遍應用。就學術觀點言之，本問題尚待研討。

懸移問題 懸移問題之研究，為泥沙問題之中心。試思考河床或地面之泥沙，如何為水流所挾而被揚於水中；被揚於水中之泥沙本身具有重量，如何懸移而不沉澱，又浮遊於水中之泥沙對於水流之性質（黏滯性，內阻力，摩擦係數，流速，流速之分佈，紊動，擴散係數等）有何影響，泥沙在水中如何分佈，水中含沙與河床組合之關係，水流含沙最大顆粒之限度，水流含沙量之飽和點，以及如何發生冲刷與沉澱等，均為最有興趣之問題。

泥沙顆粒本身具有重量，受地心之吸力，應向下沉澱，其能懸遊於水中而不墜者，必有上向之紊動以頂托之。線流式之水流(Laminar Flow)毫無紊動存在，除膠粒極小之膠質泥土外，不能挾帶泥沙，故懸移泥沙之水流，只以紊動流(Turbulent Flow)為限，而以水流之紊動為研究之中心。

就已搜集之資料，綜合國內外對於懸移問題之研究，已具有相當成果者厥為(一)二元水流之垂直線上含沙分佈定律及(二)二元水流在平衡狀態下水流底層之含沙量與河床組合之關係。至於以上所述其他各問題如含沙對於水流性質之影響，含沙之顆粒極限，飽和點等問題，均待研討。晚近研究水庫之淤積而發現之異重流，亦屬於懸移問題範圍，現在定性探討之階段，迄未有定量之結果。

關於水流垂直線上含沙量分佈定律，及含沙量與河床組合之關係研究成果，可簡述如次：

設 N 為每單位水之含沙量， c 為沙粒在水內之沉速，則 cN 為單位面積內之沉降泥沙量。設 y 為距離河床之高度，則水深垂直線上之含沙量變化率為 $\frac{dN}{dy}$ 。應用熱學之擴散原理，泥沙之向上擴散量等於擴散係數 D 與含沙量變化率 $\frac{dN}{dy}$ 之乘積。設水流與含沙呈平衡狀態，則泥沙之向下沉降量與向上擴散量相等而得

$$cN = D \frac{dN}{dy} \quad (1)$$

以往對於公式(1)之積分，多假設擴散係數 D 為常數，晚近各家根據流體力學研究結果，得知 D 在水深內之各點並不相同，應用 Prandtl von Karman 於清水試驗之結果，假設清水與渾水之擴散係數相等得

$$D = kT \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \left(1 - \frac{y}{T}\right) \frac{y}{T} \quad (2)$$

式中 k 為 Von Karman 氏常數 = 0.38 至 0.40； T 為水深； τ_0 為河床上之水流推移力。代入(1)得

$$\frac{N}{N_a} = \left(\frac{\frac{T}{y} - 1}{\frac{T}{a} - 1} \right)^k ; \quad w = \frac{C}{\sqrt{\tau_0}} \quad (3)$$

式中 N_a 為某點之含沙量，其距離河床之高度為 a 。

上式之應用，應知某 a 點之含沙量，然後可以推算垂直線上各點之含沙量，可視為相對含沙量

佈定律。

Lane與 Kalinski 更進而求河床組合與水流「底層」(Zero suspension layer) 含沙量之關係。二氏應用紊動統計方法，統計接近河床面之上向紊動流速，其超過某種大小泥沙之沉降速度者，乘以河床上該種泥沙所佔之成份，應與水流底層之該種泥沙沉降量相等，證明

$$\frac{N_o}{N_b} = \phi \left(\frac{C}{\sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}} \right) \quad (4)$$

式中 N_o 為水流「底層」所含該種泥沙之數量， N_b 為該種大小泥沙佔河床泥沙組合之百分比。二

氏採用 Mississippi 諸河測驗結果， $\sqrt{\frac{C}{\tau_o/\rho}}$ 之值為 1.0 至 0.03，在該範圍以內，符合上列公式，

允可謂對於懸移問題，有極大之貢獻。

以我國黃河而論 $\sqrt{\frac{C}{\tau_o/\rho}}$ 比值約為 0.015，在此值附近，該公式是否符合實際情形，尚待測

驗決定。又懸移質在河床之上之移動，推移躍移與懸移並存，如河決去「靜止」河床之高度，如河決去水流「底層」之高度，均屬最重要之問題，有待再加研討。如有滿意之結果，則聯合 (3) (4) 兩式，可以由已知之河床組合，推算水流「底層」之含沙量，再計算水中一點之含沙量，從而求全部之輸沙量也。

沉澱問題 沉澱與冲刷問題，均可視為懸移問題之一環，為不平衡狀態之懸移問題。在平衡狀態下，水流各層向下沉澱之泥沙量與向上擴散之泥沙量相等。設平衡受擾動（例如平衡含泥沙之水流，流入坡度較陡之河段或流入流速和緩之攔洪水庫），則發生冲刷或沉澱。不平衡之挾沙水流，其含沙量與時與地而改變，實遠較平衡問題為複雜，未能解決。目前對於水庫淤積之研究，關於沉澱物質堆積之形狀，及淤積泥沙之重量等，已獲致結果，但均係沉澱完成後之問題。至於沉澱與含沙量，流速，水深，坡度等關係以及沉澱率之定量數值，猶未獲致成果。

沉澱問題最簡單之實例，為線流沉澱問題，即通常給水工程之沉澱池問題。線流毫無紊動，自可依泥沙之沉降速度及水流速度，計算一切沉澱之過程。但細土每發生凝結作用 (Coagulation) 連結多數顆粒成網狀而沉澱，與泥土顆粒之電荷有關，該項研究，屬於膠質化學範圍。黃土在靜水中之沉澱，亦發生凝結作用，對於水庫之淤積，亦有影響，故研究黃土問題，應注意及之。

研究泥沙問題之方法與項目

研究泥沙問題包括：理論分析，系統試驗與實際測驗。任何工程研究，旨在明事物之理，必以實在之事物為對象，以數學為主要之工具，分析其過程，判別其各種因子之互相關係，而求能互打一致之原理及通則，是謂之理論分析。理論分析並非純粹數學，而以數學為主要之分析工具。數學分析客觀而準確，無出其右。以數學分析事物之理，不能脫離事物之實質而存在，或盡去數學之技巧。理論分析以能把握事物之「物理概念」(Physical conception) 為最重要。

工程研究，每以各種因子繁多，理論分析，萬分困難。欲明其互相影響，最簡易之方法，莫若「凍凍」多數因子而個別研究某一因子之變化。例如流量，水深，含沙量俱與冲刷有關，試驗研究時固定其流量及水深，專事探求含沙量對冲刷之影響，再固定流量及含沙量而研究水深與冲刷之關係

，是謂之系統試驗 (Systematic experimentation)，有系統的各別求諸因子之互相關系，進而求全部之定理。系統試驗之精神在於有思考的應用試驗，使事物本身表達其原理。一般工程研究，或由理論分析，或由系統試驗，以獲致成果；然由系統試驗之啓示以推進理論之分析而解決工程問題者，猶佔多數。近代流體力學之發展，可為明證，故理論與試驗不可分。

不論理論分析或系統試驗皆在求事物之理，所得定律，必須引證實際測驗結果，嚴加考證，以確其是否真實。又系統試驗每限於設備，不能達到天然事物之界限，例如試驗流量不能達到天然流量之值則實際測驗，既可以校核研究結果之準確性，並可以補試驗之不足。

茲建議泥沙問題之研究項目，分列如次：

1. 懸移質對水流一般性質之影響。
 - a. 含沙量對水流黏滯性之影響。
 - b. 含沙量對明渠及水管水流摩擦係數之影響。
 - c. 含沙量對堰孔口閘門等水工建築物各種係數之影響。
 - d. 含沙量對水流能力消耗之影響。
2. 懸移體之冲刷。
 - a. 含沙量與水流推移力之關係。
 - b. 各種含沙量及各種河床組合與水流臨界推移力之關係。
 - c. 各種河床組合之冲刷率，輸沙量與水流含沙量之關係。
3. 懸移質之分佈與移動。
 - a. 擴散係數與含沙量之關係。
 - b. 各種水流(等量與不等量，等速與不等速，二元及三元水流)，橫斷面及縱斷面上含沙量之分佈。
 - c. 含沙量與河床組合之關係。
4. 懸移體之沉澱。
 - a. 各種水流因子與含沙飽合點及含沙最大顆粒限度之關係。
 - b. 各種水流因子，各種含沙量及各種泥沙顆粒之沉澱率。
 - c. 凝結與沉澱之關係。
5. 實際水利工程之泥沙問題。
 - a. 攔洪減洪水庫之冲淤問題。
 - b. 導治河流之冲淤問題。
 - c. 土渠之穩定問題。
 - d. 港灣之冲淤問題。
 - e. 水土保持之防冲問題。

以上略舉泥沙研究之項目。泥沙之研究在明其運行之理，欲明其理，必先知其現象，鮮有不知事物之現象而能舉其理者，以水力學為例，設未嘗見水躍而能閉戶伸引水躍公式者，鮮有其人。泥沙顆粒微小，與水混合後，渾然一體，不易觀察其運動，研究泥沙之困難，或在於斯。故如何創製儀器，改進觀測方法，得藉以明瞭泥沙運動之現象，實為研究之急務。Bakmeteff 曾曰：流體力學研究之首要為「現象學」，誠屬至理名言。

工程技術之發展，恆以事實之需要為其原動力。日本地震頻仍，故結構學地震之設計，能震世之牛耳。我國大江以北，儘屬黃土，泥沙問題之嚴重性及其需要解決之迫切，凡從事水利者莫不知之，然以種種原因，未能達到理想之進展。此次出版委員會編輯泥沙專號，全人就能力所及，廣徵文稿，期能有系統地彙括各主要問題，以資進水利原志對泥沙問題之注意，再謀編印續刊。出版委員會對此大擴稿誦先生，敬致謝忱。

懸移質理論介紹

范家驛 (1)

引言

河道之泥沙懸移，係水流紊動所致，近人對紊動現象之內在性質，多持統計理論為解釋之根據。

本篇首先略述水流紊動之基本理論，次則介紹各家應用紊動理論研究懸移質在水流垂直方向之分佈，以及平衡狀態下河道底質組合之現有研究成果。惟以限於篇幅，行文力求簡短，以致介紹時對諸家宗旨，難免有疏略失明之處，如荷讀者指正，無任感幸。

(一) 紊動理論 (Theory of Turbulence) 淺述

紊動

如置沙粒於靜水水面，則沙粒即因重力，而以某種速度沉降；故河流之含沙，所以能懸移於水中，必因水中有向上之某種流勢支持其浮游，此一流勢即昇之於紊動中向上之紊速。紊動為混動於水層與水層間之各種大小漩渦之運動。渦動之產生，主要係為水之粘滯性，河渠渠壁之粗糙率，或其他障礙所致。渦動能在水層之間傳遞動量，熱量，質量，並伴有能的消失。

紊動並不遵循因果律，但其各種因子之性質，均可以統計理論處理之，紊動之性質，可以數種因素表示之：如漩渦之大小，水點紊速之強弱 (fluctuation Velocity) 等。

紊動之基本觀念

a. 紊速之頻率分佈 紊動流中水分子在 x, y, z 三空間座標之分速，各為 $U, u, V \pm v, W \pm w$ 。 U, V, W 為平均流速， u, v, w 為紊速，在一相當長之時距內，任何一點之各向紊速之代數

平均值 (以 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ 表示) 等於零，即 $\bar{u} = \bar{v} = \bar{w} = 0$ ，但紊速瞬值 (instantaneous value)

平方之平均值 ($\bar{u}^2, \bar{v}^2, \bar{w}^2$) 則不等於零。

寬淺河渠中之水流，可視為二元水流 (two-dimensional flow)，故 $V = W = 0$ 。紊速既為時間之函數，吾人必須研究：足以表其性質之統計平均值，現以 v 為例。設 $f(v)$ 為 v 之統計分布函數，即 $f(v) dv$ 表示在 v 與 $v+dv$ 之間之機率 (Probability)，由各家試驗結果，得如下之形式：

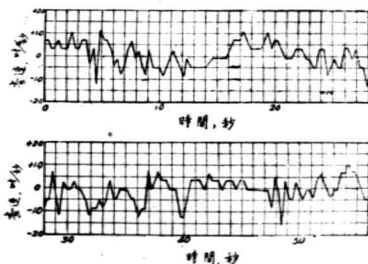


圖 1 明渠紊動流中某固定點之上下向之紊速變化

(1) 中央水利實驗處助理研究員

$$f(v) = y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{v^2}{v^2}}} e^{-\frac{v^2}{2v^2}} \quad (1)$$

亦即 $f(v)$ 之分佈與正常誤差律 (Normal error law) 符合。

圖 1 示明渠紊動流中發生於某固定點之上下向之紊速變異；圖 2 示該紊速之頻率分佈曲線。

各種紊動之形式，理論上可用 u, v, w 之相互關係表示，但一般紊動之內在性質過於複雜，最簡單之形式為“等紊紊動”(isotropic turbulence)，以數學表示之，即 $\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$ ， $\overline{uv} = \overline{vw} = \overline{uw} = 0$

(\overline{uv} 等式為 u, v 各瞬間乘積之平均數)。嚴格言之，在天然水流中無等紊紊動存在，管流之中心部分以及寬淺明渠之近水面部份，依稀近之耳。凡速坡之值愈大，推移力之值愈大之處，則乖離等紊紊動愈遠。

b. 相關係數 (Correlation coefficient)

研究紊動中分子之運動，吾人可觀察二元等速流中 y 值相同之各點，在同一時間之流速關係，或一點在某瞬間之流速與該點七時後之流速關係。G. I. Taylor 氏定相關係數 R 為

$$R_x = R_t = 1 - \frac{(\overline{v_1 - v_2})^2}{2\overline{v^2}} \quad (2)$$

自式 (1)，因各點之紊速平方之平均值相等，

即 $\overline{v_1^2} = \overline{v_2^2} = \overline{v^2}$ ，故

$$R_x = R_t = \frac{\overline{v_1 v_2}}{\overline{v^2}} \quad (3)$$

v_1, v_2 為相距 x 之兩點，在同一時間之紊速；或為某定點零時與七時後之紊速。當 x 或 t 甚小時，則 $R_x = R_t = 1$ (圖 3)；如 t 值甚大或 x 之距離大於平均湍流直徑長，則 $R_x = R_t = 0$ 。L. F. Gimrhors 在風洞作有試驗，A. A. Kalinske 在 $12'' \times 12''$ 之明渠水流中亦作試驗，求取 R_x 與 x 之關係，結果如圖 3 所示 (水流平均速度 = 7.8 吋/秒)。

c. 擴散係數

設以與水同比重之有色液體，於極小之管子，在水流平行方向射向水流，以電影照相機攝取七時後液體之地位，則可得分子擴散之橫座標 x, y 之關係。設 U 為水流平均流速， x 為分子擴散水平方向之距離，則 $t = \frac{x}{U}$

G. I. Taylor 氏證明

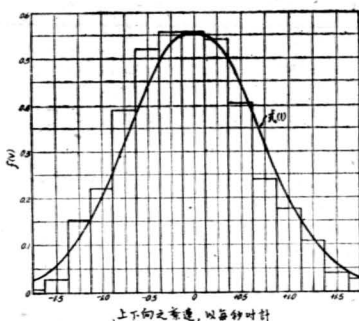


圖 2 紊速之頻率分佈曲線

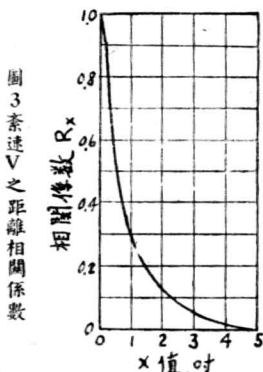


圖 3 紊速 V 之距離相關係數

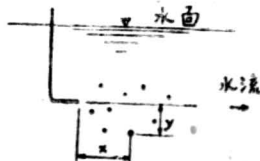


圖 4

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{y}^2}{dt} = \bar{v}^2 \int_0^t R_t dt \quad (4)$$

當 t 甚小時，則 $R_t = 1$ ，則式(4)為

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{y}^2}{dt} = \bar{v}^2 t$$

或

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{y}^2}{dx} = \bar{v}^2 \frac{x}{U} \quad (5)$$

當 t 變大，而至 $t=T$ ， $R_t = 0$ 時， $\int_0^T R_t dt = \text{常數} = k$ ，則式(4)為

$$\frac{d\bar{y}^2}{dx} = 2\bar{v}^2 \frac{k}{U} \quad (6)$$

式(6)亦可書作

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{y}^2}{dt} = \bar{v}^2 \int_0^t R_t dt = \text{常數} = D \quad (7)$$

D 即名為擴散係數，其單位為長度乘以速度。故式(7)亦可書為

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{y}^2}{dt} = \bar{v}^2 \int_0^T R_t dt = l_1 \sqrt{\bar{v}^2}$$

$$l_1 = \sqrt{\bar{v}^2} \int_0^T R_t dt \quad (8)$$

1. 為長度，與漩渦大小成正比。

Kalinske 曾以 12" × 12" 水槽，用細管，以有色液體以及與水同比重之有色液體顆粒 (Carbon tetrachloride 與 Benzol 之混合物)，射入水流方向，攝取色滯流與顆粒之分佈情形，得結果如圖5所示，其水流平均流速為 7.8 吋/秒， $\sqrt{\bar{v}^2} = 0.78$ 吋/秒。

d. 紊動動量轉移數 (turbulent momentum transfer Coefficient) Boussinesq 之導引公式，表示紊動中動量轉移所生之剪力為

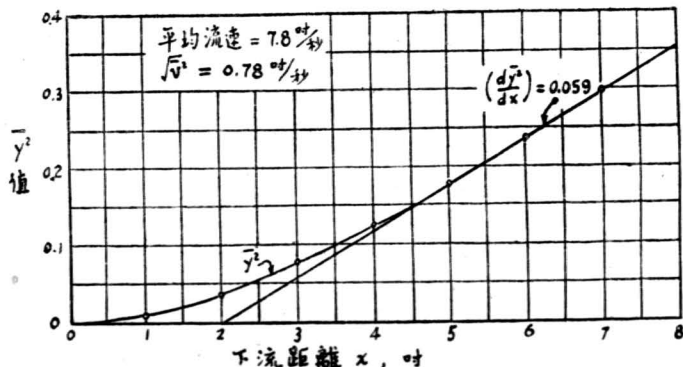


圖5 紊動流中擴散之實驗記錄

$$\tau = \rho \epsilon_m \frac{du}{dy} \quad (9)$$

$\frac{du}{dy}$ 為流速橫坡， ρ 為水之密度， ϵ_m 為渦動粘滯力 (eddy viscosity)，因表示相鄰流層間動量之轉移，故又名紊動動量轉移係數，式 (9) 可作：

$$\epsilon_m = \frac{\tau}{\rho \frac{du}{dy}} \quad (10)$$

在管流中，剪力與流速之分佈式為

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{y}{r_0} \right) \quad (11)$$

$$\frac{u - u_{\max}}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}} = \frac{1}{k} \log_e \frac{y}{n_0} \quad (12)$$

τ_0 為管壁之剪力， y 為至管壁之距離， r_0 為管半徑， k 為常數，約為 0.4， $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ 為摩阻流速 (friction velocity)。

如應用於平直寬淺渠道，則以最大水深 h 代 r_0 ， y 為至渠底之距離，則

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{y}{h} \right) \quad (13)$$

$$\frac{u - u_{\max}}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}} = \frac{1}{k} \log_e \frac{y}{h} \quad (14)$$

微分式 (14)，得

$$\frac{du}{dy} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \cdot \frac{1}{y} \quad (15)$$

以 (15)，(13) 兩式代入式 (10)，則得

$$\epsilon_m = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} kh \frac{y}{h} \left(1 - \frac{y}{h} \right) \quad (16)$$

ϵ_m 之單位為長度乘以速度，自式 (16) 知動量轉移係數係水深之函數，在河底及水面為零，近半深處，其值最大。

(二) 懸移質在水流垂直方向之分佈

T. von Karman 氏懸移相對分佈式及其伸展式之伸引。

由式 (9)： $\tau = \rho \epsilon_m \frac{du}{dy}$ ，表示因紊亂而生之動量轉移率，吾人可以相似公式，表示二元明流中質量之轉移率。設單位面積之懸移質質量之轉移率為

$$G = \epsilon_s \frac{d\theta}{dy} \quad (17)$$

y 為以水面為零之縱坐標， θ 為單位容積懸移質之濃度或含沙量， ϵ_s 為質量轉移係數。

在穩定狀態下，由於紊亂之向上運行之物質，為其重力向下之沉降所平衡，則

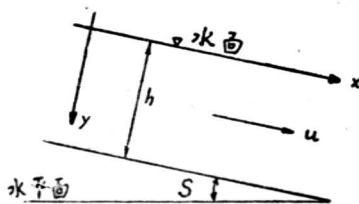


圖6

$$\epsilon_s \frac{d\theta}{dy} = \omega \theta$$

ω 爲泥沙之沉降速度。故

$$\log \frac{\theta}{\theta_a} = \omega \int_a^y \frac{dy}{\epsilon_s} \quad (19)$$

a 爲 $y=a$ 之任意高度以式(10)代入式(19)，得：

$$\log \frac{\theta}{\theta_a} = \rho \omega \int_a^y \frac{du}{\tau} dy \quad (20)$$

此式爲 von Karman 氏於1934年首先發表者。

假定 $\epsilon_s = \epsilon_m$ ，以式(16)代入式(19)，則得

$$\log \frac{\theta}{\theta_a} = \frac{\omega}{k \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}} \int \frac{\frac{y}{h}}{\frac{a}{h} - \frac{y}{h} \left(1 - \frac{y}{h}\right)} d\left(\frac{y}{h}\right) \quad (21)$$

令 $\zeta = \frac{y}{h}$ ， $\zeta_a = \frac{a}{h}$ ，則

$$\log \frac{\theta}{\theta_a} = \frac{\omega}{k \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}} \int_{\zeta_a}^{\zeta} \frac{d\zeta}{\zeta(1-\zeta)} \quad (22)$$

$$= \frac{\omega}{k \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}} \int_{\zeta_a}^{\zeta} \frac{1}{\phi(\zeta)} d\zeta \quad (23)$$

其中 $\phi(\zeta) = \zeta(1-\zeta)$

式(22)積分，又 $\tau_c = \rho h S$ ， S 爲水面比降，則得

$$\frac{\theta}{\theta_a} = \left\{ \frac{\zeta}{\zeta_a} \times \frac{1-\phi_a}{1-\zeta} \right\} \frac{\omega}{k \sqrt{\tau_c / \rho}} = \left[\frac{\zeta}{\zeta_a} \times \frac{1-\zeta_a}{1-\zeta} \right] k \sqrt{ghs} \quad (24)$$

此爲某種泥沙量(其沉降速度爲 ω)之相對分佈方程式，對於一切河道 $\phi(\zeta)$ 均屬同形，故懸移質分佈情形，僅視 $\frac{\omega}{k \sqrt{ghs}}$ 值而變矣。

式(24)之引引，有數點基本假設，極爲重要：(a) 爲 $\epsilon_m = \epsilon_s$ ，即假定動量轉移係數與質量轉移係數相同；(b) 明流之剪力分佈情形，設與管流中者同，(c) 明渠之流速分佈設與管流中者同。

V. A. Vanoni 曾作懸移質試驗，結論謂：實際懸移質分佈與理論分佈曲線相影而不相同。即 $\epsilon_m = \epsilon_s$ 假設，實有疑問，實際測得之懸移質分佈，較理論者爲大，沙質愈細，其差異愈大。

爲工程上實際應用，Lane 與 Kalinske 兩氏假定 $\epsilon_s = \epsilon_m$ ，且設該值在水深各點爲常數，求 ϵ_s 之平均值，設 $k = 0.40$ 得

$$\epsilon_{ave} = \frac{h \sqrt{\tau_c}}{15 \rho} \quad (25)$$

代入式(19)，得

$$\frac{\theta}{\theta_a} = c \frac{15(\zeta_a - \zeta)}{k \sqrt{ghs}} \frac{\omega}{\rho} \quad (26)$$

在(24)與(26)兩式中, $\zeta = \frac{a}{h}$ (a 為 $y = a$ 之任意高度), a 在理論上, 不能伸展至河底(即 $a = h, \zeta_a = 1$), 因 $\zeta = 1$ 時, 式(24)曲線即為不連續。

連水氏懸移質分佈公式

連水氏一郎氏(英文譯名為 S. Hayami)研究水中微小沙粒之運動, 以及紊動之特性, 得一微分方程式, 適用於紊動致使泥沙懸移於水中之情形, 其式為

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sum_j \eta_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) - \sum_i v_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \omega \frac{\partial \theta}{\partial x_2} \quad (27)$$

$i, j, ij = 1, 2, 3; 1, 2, 3$ 為空間三座標。

θ 為單位水容積內顆粒之質量, 其沉降速度均相等。

t 為時間

v_i 為水分子之平均降速

η_{ij} 為紊動係數 (turbulent tensor)

在寬淺河道中, 水流近乎二元流, 若河底沙粒不因水流紊亂而有冲刷或淤積現象, 呈穩定狀態者, 則 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$, 應用於二元流, 式(27)成

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\eta_{yy} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] = \omega \frac{\partial \theta}{\partial y} \quad (28)$$

其邊界條件為河底: $\zeta = 1, \theta = \theta_0 = \text{常數}$ 。積分式(28):

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{\theta} = \omega h \int_1^{\zeta} \frac{d\zeta}{\eta_{yy}} = -\omega h \int_{\zeta}^1 \frac{d\zeta}{\eta_{yy}} \quad (29)$$

連水氏導出為寬淺河道之 η_{yy} 為

$$\eta_{yy} = \frac{ch \sqrt{ghs}}{\sqrt{2}} \frac{(1-t^2)^{1/2}}{\sqrt{1+\zeta^2}} = \frac{ch \sqrt{ghs}}{\sqrt{2}} \varphi(\zeta) \quad (30)$$

其中 $\varphi(\zeta) = \frac{(1-t^2)^{1/2}}{\sqrt{1+\zeta^2}}$; c 之值, 為 0 至 0.4, 以 η_{yy} 之值代入式(29), 得

$$\log \frac{\theta}{\theta_0} = -\frac{\sqrt{2} \omega}{c \sqrt{ghs}} \int_{\zeta}^1 \frac{\sqrt{1+t^2}}{(1-\zeta^2) \sqrt{\zeta}} d\zeta = -\frac{\sqrt{2} \omega}{c \sqrt{ghs}} \Omega(\zeta) \quad (31)$$

上式之 ζ 不能等於 1, 設 $\zeta = 0.9999$ 表示河底之條件, 即

$$\Omega(\zeta) = \int_{\zeta}^{0.9999} \frac{\sqrt{1+t^2}}{\zeta (1-\zeta^2) \sqrt{\zeta}} d\zeta \quad (32)$$

理論上, 河底層有極薄之線流層(1), 現假設線流層之頂部處懸移質之濃度為 θ_0 。

(1) T. Vou Korman 假設線流層厚度 $d = 11.5 \sqrt{ghs}$ (c. g. s.), 黏滯力粘滯係數 $\nu = 0.01$, $\sqrt{ghs} = 6$, 則 $d = 0.19 \text{ m}$, 約為河身之直徑, 若在河底邊界處高之情形下, 線流層亦可能不存在。

式(32) $\Omega(\zeta)$ 函數表, 如表1.

表一 $\Omega(\zeta)$ 函數表

ζ	$\Omega(\zeta)$	ζ	$\Omega(\zeta)$	ζ	$\Omega(\zeta)$
0	7.789	0.36	6.558	0.70	5.793
0.02	7.507	0.38	6.518	0.72	5.734
0.04	7.400	0.40	6.477	0.74	5.672
0.06	7.314	0.42	6.437	0.76	5.606
0.08	7.239	0.44	6.396	0.78	5.536
0.10	7.173	0.46	6.356	0.80	5.459
0.12	7.106	0.48	6.314	0.82	5.376
0.14	7.055	0.50	6.272	0.84	5.284
0.16	7.001	0.52	6.229	0.86	5.182
0.18	6.951	0.54	6.187	0.88	5.064
0.20	6.902	0.56	6.142	0.90	4.928
0.22	6.857	0.58	6.097	0.92	4.761
0.24	6.811	0.60	6.050	0.94	4.550
0.26	6.767	0.62	6.003	0.96	4.255
0.28	6.724	0.64	5.953	0.98	3.755
0.30	6.682	0.66	5.902	0.99	3.259
0.32	6.640	0.68	5.848	0.995	2.768
0.34	6.600			0.999	1.628

兩公式之比較。

上述各家關於泥沙分佈之討論, 其基本地點大致相同, 即如(19)與(29)兩式所示, 所得之公式結果不同, 乃由於質量轉移係數(或稱紊動係數)之差異耳。

連水氏之 η_{yy} 值如為式(30)所示, 其中 $\varphi(\zeta)$ 函數, 顯示 η_{yy} 在水流垂直方向之變化。 $\varphi(\zeta)$ 之函數(表2與圖7), 近似一拋物線, 可以 $\alpha\zeta(1-\zeta)$ 代之, α 為一常數(即 $\alpha\phi(\zeta)$) 函數, 見式(16), (22), (33) 設 $\alpha=2$, 以 $2\phi(\zeta)$ 與 $\varphi(\zeta)$ 比較, 如圖7, 結果頗為近似。

設 $c = m \eta_{yy}$, 則常數部分可得下列關係:

$$\frac{ch\sqrt{g'hs}}{V^2} = \frac{kh\sqrt{g'hs}}{\alpha}$$

$$\frac{c}{V^2} = \frac{k}{\alpha} \quad (33)$$

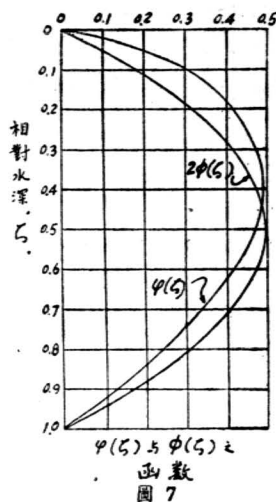
$\alpha=2$, 則得

$$c = \frac{\sqrt{2}}{2} k = 0.707k \quad (34)$$

據 Vanoni 試驗結果, $k=0.2\sim 0.4$, 則 C 值應為 $0.21\sim 0.28$, 連水氏稱 C 之值為 0 至 0.4 , 長江之 C 值, 計算得為 0.15 至 0.20 , 故上述關係, 大致相近。

表二 $\varphi(\zeta)$ 與 $\phi(\zeta)$ 之函數

ζ	$\varphi(\zeta)$	$\phi(\zeta)$
0	0	0
0.1	0.312	0.09
0.2	0.421	0.16
0.3	0.477	0.21
0.4	0.493	0.24
0.5	0.474	0.25
0.6	0.425	0.24
0.7	0.350	0.21
0.8	0.251	0.16
0.9	0.134	0.09
1.0	0	0



理論懸移質分佈曲線及各種泥沙懸移最高界限

理論分佈曲線 自 (24) 及 (31) 式, 可知含沙量之分佈, 係為 $\frac{\omega}{V g h s}$ 所決定, 設河底含沙量為 10^5 gm/m^3 , $C=0.2$, 用 (31) 式, 分別計算 $\frac{\omega}{V g h s} = 0.3, 0.15, 0.05, 0.02$, 各種泥沙之分佈曲線, 見表 3 與圖 8。

表 3 泥沙分佈曲線 ($\theta_c = 10^5 \text{ gm/m}^3, c=0.2$)

ζ	gm/m^3			
	$\frac{\omega}{V g h s} = 0.3$	$\frac{\omega}{V g h s} = 0.15$	$\frac{\omega}{V g h s} = 0.05$	$\frac{\omega}{V g h s} = 0.02$
0	0.0006	2.69	638	3327
0.1	0.0025	5.13	795	3631
0.2	0.0044	6.77	871	3767
0.3	0.0071	8.71	955	3890
0.4	0.0107	10.7	1001	4000
0.5	0.0166	13.3	1096	4120
0.6	0.0257	16.6	1175	4246
0.7	0.0479	18.6	1294	4315
0.8	0.0955	31.6	1452	4624
0.9	0.933	53.6	1758	4932
0.96	1.202	113.5	2183	5483
0.98	3.55	169.1	3900	5888
0.999	316.0	1791.0	5625	7943

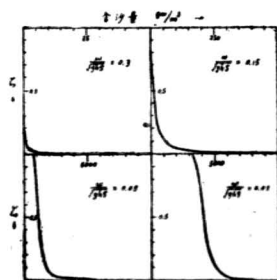


圖 8 寬淺河道懸移質之垂直分佈

泥沙懸移之最高界限 在穩定狀態之下，設某段河道之 \sqrt{ghs} 值之一定，則各種沙粒之分佈情形，因粒徑大小（沉降速度）而不同，粒粗者，較集中於河底，粒細者，其分佈可達於水面（見圖8），由理論公式所示，顆粒雖粗，水面之 $\frac{\theta}{\theta_c}$ 之值，可為極小，但絕對不等於零，實際上：如 $\theta_c = 10^5 \text{ gm/m}^3$ ， $\frac{\theta}{\theta_c} = 1 \times 10^{-5}$ 則水面上之含沙量 θ 為 1 gm/m^3 ，此微值當可忽略，而視為零值。如視 $\frac{\theta}{\theta_c} = 10^{-5}$ 時之含沙量為零，則可自式得（31）

$$\frac{0.4343\sqrt{2}}{c} \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} \Omega(\zeta) = -5 \quad (35)$$

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$ 為已知時，自 $\Omega(\zeta)$ ，即可得 ζ 值；表示某種沙粒所能懸移之最高限度。設 $C=0.2$ 各種

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$ 泥沙之上限，如圖9所示。

圖9 當 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} \geq 0.3$ 時，沙粒懸移，

僅限於河道底部附近，而當 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$

≤ 0.2 時，則擴至水面，速水氏定

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 為懸移質與推移質之界

限。

實測河道懸移質之垂直分佈情形

Kalinske 在美 Mississippi 之 Muscatine 採取懸移質，結果如表 4.5 及圖10。

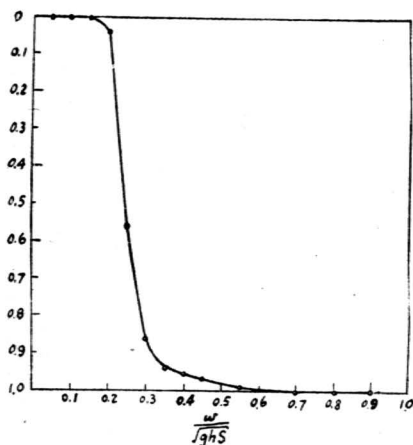


圖9 懸移質之懸移最高限度

表4 Mississippi 河，Muscatine 處之懸移質分佈， $h=33.9$ 呎溫度 $=63^{\circ}\text{F}$

y 水面以下深度 以計	含 沙 量 pp.m					
	總 計	粒 徑 以 mm 計				
		0.85-0.25	0.25-0.075	0.075-0.020	0.020-0.005	>0.05
1.0	151	0.30	1.1	38.2	65.1	46.1
8.0	168	0.84	2.5	47.0	73.7	43.9
16.0	163	2.8	4.2	42.6	62.0	51.4
23.0	184	2.6	4.6	50.0	73.3	53.7
28.5	173	9.5	9.9	36.0	64.0	53.6
33.3	217	19.5	17.1	55.6	77.1	47.2

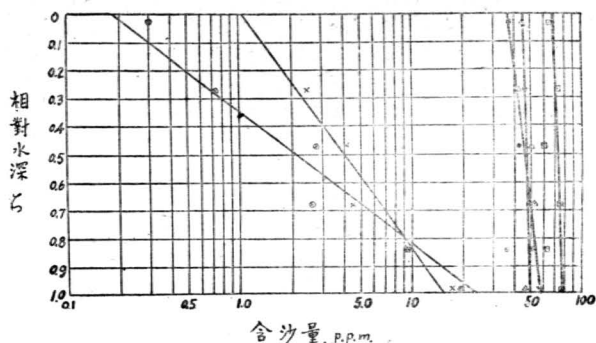


圖10 Mississippi 河懸移質之垂直之分佈

圖10之理論曲線為

$$\frac{\theta}{\theta_a} = e^{-15 \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} (\zeta - \zeta_a)} \quad (36)$$

速水氏於1933年在長江之南京，採取懸移質，如表5與圖11所示，

圖11之理論曲線，係自深集之懸移質各值之紀錄，根據(31)式，以最小二乘方，求得曲線方程式為

$$\log_{10} \theta = 4.43941 - 0.2161 \zeta (\zeta) \pm 0.02338 \text{ (c.g.s.)} \quad (37)$$

例

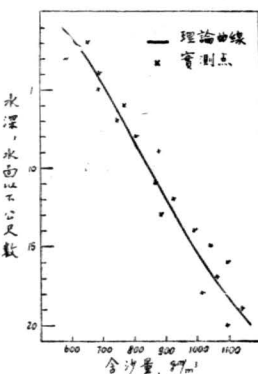
(三) 懸移質與河道底質組合

(甲) 速水氏之理論

穩定條件之基本假設

速水氏對河道之穩定條件，作假設如下：

I 在穩定情況下，式(31)，(32)即可成立。(31)式顯示另一意義：即表示各種水深時之攜帶泥沙之能力。



(圖11)長江懸移質之垂直分佈 (南京)

表5 h = 32.5m 溫度 = 22.6 至 23°C

Y (m)	θ (gm/m ³)	Y (m)	θ (gm/m ³)
2	646	12	917
3	576	13	878
4	681	14	989
5	682	15	1039
6	763	16	1094
7	742	17	1060
8	801	18	1014
9	872	19	1139
11	862	20	1091

II. 懸移質愈浮游於河道附近，河道愈為穩定。

河道水流之紊動，產生質量之轉移，此種質量之轉移，不單發生在與水流垂直之鉛直方向，並有與水流方向垂直之水平方向者，如泥粒在橫斷上，不單有上下向之傳遞，並向河岸兩邊傳遞，河邊處水流速度緩慢，顆粒易于下沉，是故，自河心至兩岸，經常有顆粒之轉移。由圖 7，吾人可知質量之轉移作用，以半深處 $\zeta = 0.5$ 為最大，故欲河底穩定，最好使各種懸移質，均在河底附近移動，

穩定河道之理論底質組合

在 I, II 兩假設下，吾人可確定穩定河道之理論底質組合，圖 9 中之 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ ，表示懸移質與推移質之界限，現以此界限為標準，計算在此界限內各種沙粒可能存在於河底所佔之百分比。

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 時之懸移上限約為 $\zeta = 0.86$ ，根據第二假設，設各種 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} < 0.3$ 之顆粒之懸移上限，亦為 $\zeta = 0.86$ ，則此種存在於河底之各種沙粒與 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 粒子之百分比，在與同一 θ 。

$\zeta = 0.86$ 時之各該 $\frac{A}{\theta}$ 值約成反比* (1) (圖 12 示意)

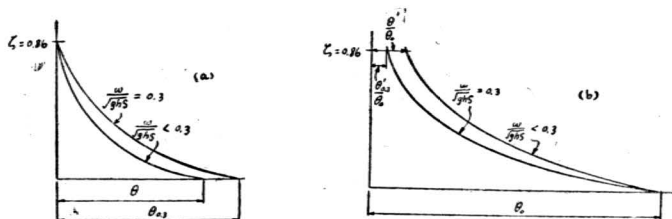


圖 12

即

$$\frac{A}{\theta_{0.3}} = \frac{A'_{0.3}}{\theta'}$$

故

$$\text{Log} \frac{A}{\theta_{0.3}} = -\frac{\sqrt{2}}{c} \Omega(0.86) \left[0.30 - \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} \right] \quad (38)$$

計算結果，如表 6 (設 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 之數量為 α)

現計算存在於河底之 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} > 0.3$

之諸種粒子與 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 粒子之百分比。

此種存在於河底 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} > 0.3$ 之沙

表 6 底質之相對沙量(1)

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
佔 % ($\alpha \times$)	0.1636	0.0251	0.0043	0.0007	0.0001

*理論上二者之關係非屬於一次式者

粒，原係河道之推移質而沉澱者，故其數量必與推移此種沙粒之能力成正比。根據第一假設，設 θ 為常數時，自 (31) 式計算 $\zeta = 0.999$ 時之各種不同 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$ 之 θ 值，即表示轉移各該種沙子之相對能力。此能力與河底沙量成正比。故 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} > 70.3$ 之粒子與 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 粒子量之比為：

$$\lg \frac{\theta}{\theta_{0.3}} = -\frac{\sqrt{2}}{c} \Omega (0.999) \left\{ \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} - 0.3 \right\} \quad (39)$$

計算結果如表 7

表 7. 底質之相對沙量 (2)

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$	0.35	0.40	0.45	0.50	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
佔 % ($\alpha \times$)	0.5483	0.3134	0.1746	0.0997	0.0310	0.0097	0.0031	0.0010	0.0003

自表 6, 7, 得各種顆粒與 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 之百分比, 今計算 $\frac{W}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 在河底總沙量中所佔之百分比 αx , 得

$$\alpha = 42.11\% \quad (40)$$

自表 6, 表 7, 用 $\alpha = 42.11\%$, 可計算存在於河底之其他各種粒子佔河底總沙量之百分比, 結果如表 8 與圖 13。

表 8 穩定河道之理論底質分佈

$\frac{\omega}{\sqrt{ghs}}$	%	累積百分比
0.05	0.004	0.004
0.10	0.03	0.03
0.15	0.18	0.21
0.20	1.05	1.26
0.25	6.89	8.15
0.30	42.11	50.26
0.35	23.09	73.35
0.40	13.20	86.55
0.45	7.37	93.92
0.50	4.20	98.12
0.60	1.31	99.43
0.70	0.41	99.84
0.80	0.31	99.97
0.90	0.04	100.01
1.00	0.01	100.02

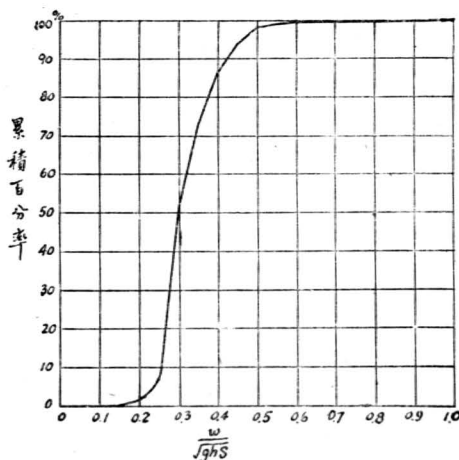


圖 13 理論底質之顆粒分佈曲線

如河道之 \sqrt{ghs} 值為已知, 可自表 8 算得河道在穩定狀態下底質顆粒之理論組合。

(乙) Lane與 Kalinske兩氏之理論

影響河道底質組合之有關因子

河道之懸移質，達於平衡狀態者，即河底無沖淤傾向之謂也，亦即：沉降達於河底之平均沙量 ω 等於為紊動自河底激起之平均沙量。

設河底處紊速之向上分量 v 等於或大於沙粒之沉降速度 ω ，則河底處沙粒，即為紊速產生之向上流勢懸移水中。故吾人可以斷言：河道底質之組合，與河底附近之懸移組合，當極近似，或河底質之組合，較粗于懸移質者。

河底處被激起之物質，係與紊動中向上之紊速分量成正比。實驗證明（見第一章：紊動理論）紊速向上分量之統計分佈，符合於正常誤差律者（圖二），即

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{v^2}} e^{-\frac{v^2}{2v^2}} \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv = 1 \quad (1a)$$

$f(v) dv$ 表示流速發生在 v 與 $v+dv$ 之間，所佔之一部分時間。設 $\sqrt{v^2}$ 為已知，則在 v 值之 $f(v)$ 函數，即可求得。

河底被激起之沙粒，與河底之組合有關，亦必與存在於河底之此種沙量有關。前述沙粒直徑可以其在靜水中沉降速度表示之參閱前節。一般河底沙粒之空隙率，可達80%，其空隙率之大小亦足以影響沙粒為紊速激起之程度。

懸移質與底質之函數關係。

河底為紊動激起之沙質與河道底質之組合有關，故為紊動激起之任何大小之顆粒平均率，必與下列諸因子成比例（a）存在於河底之此種大小之沙量， θ_b （b）能激起此種沙粒之向上紊速， v （ $V > \omega$ ）（c）紊速激起沙粒所需之時間關係值， $f(v) dv$ 以數學表示之，即與下式成比例：

$$\theta_b \int_{\omega}^{\infty} v f(v) dv \quad (41)$$

$f(v)$ 之值如式（1）所示，其中之 $\sqrt{v^2}$ 值通常為未知數。在紊動量轉移之分析中，知任何一點之剪力為 $\tau = \rho \frac{uv}{v}$ ， ρ 為水之密度， $\frac{uv}{v}$ 為紊速分量 u ， v 乘積之代數平均值， u 為與水流同向， v 為與水流垂直之紊速分量。在一般情形之下， u 分量與 v 分量成比例，故 $\frac{uv}{v}$ 量亦可與河底附近之 $\frac{\omega}{v^2}$ 成比例。設在河底處，令 $\sqrt{v^2} = K \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}$ ， τ_c 為河底剪力， K 為比例常數，則以1式與 $\sqrt{v^2}$ 值代入（41）式，得

$$\theta_b \int_{\omega}^{\infty} \left(\frac{v}{k \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}} \right) e^{-\frac{\rho v^2}{2k^2 \tau_c}} dv \quad (42)$$

K 值須由試驗確定，但在寬淺之二項水流各點情形可視為相同，故在（42）比例關係中， K 與其他常數可略去，並令 $D = \frac{v}{\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}}$ ， $D_w = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}}$ ，代入（42）式，即得（43）

式此即：為紊動激起之任何大小之顆粒平均率，與下列（43）式成比例：

$$\theta_b \sqrt{\frac{\tau_{c0}}{\rho}} \int_{p_w}^{\infty} p e^{-p^2} dp \quad (43)$$

河底激起之沙量平均率，既與沙量下降率相等，則得下列之比例關係：

$$\theta_{\omega} \propto \theta_b \sqrt{\frac{\tau_{c0}}{\rho}} \int_{p_{\omega}}^{\infty} p e^{-p^2} dp \quad (44)$$

其中 θ 為河底處之懸移質濃度或含沙量，其平均沉降速為度 w (44) 式可作。

$$\frac{\theta}{\theta_b} \propto P \quad (45)$$

其中

$$P = \frac{1}{P_w} \int_{p_{\omega}}^{\infty} p e^{-p^2} dp \quad (46)$$

P 值可以下式示之：

$$P = \frac{1}{2p_{\omega}} - \frac{p_{\omega}}{2} + \frac{p_{\omega}^3}{4} - \frac{p_{\omega}^5}{12} + \dots - \frac{p_{\omega}^{2n-3}}{2(n-1)!} \quad (47)$$

參數 p_{ω} 之與函數 P 之曲線，給如圖 14。(45) 式表示穩定狀態下，懸移質與底質之函數關係。

當 $p_{\omega} \geq 1$ 時， $P \rightarrow 0$ ，此顯示其 P_w 等於或大於一之沙粒，將難於在水中懸移。當 $p_{\omega} \rightarrow 0$ ， $P \rightarrow \infty$ ，此表示極為微小之泥沙對於懸移質與底質，不能建立正確之關係。

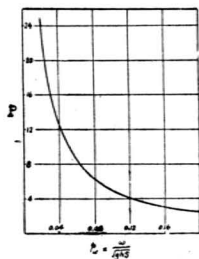


圖 14

(三) 理論與實測記錄之對照

Lane 及 Kalinske 搜集前人測量美國 Colorado, Mississippi, Missouri 諸河之資料，加以分析，得圖 15。

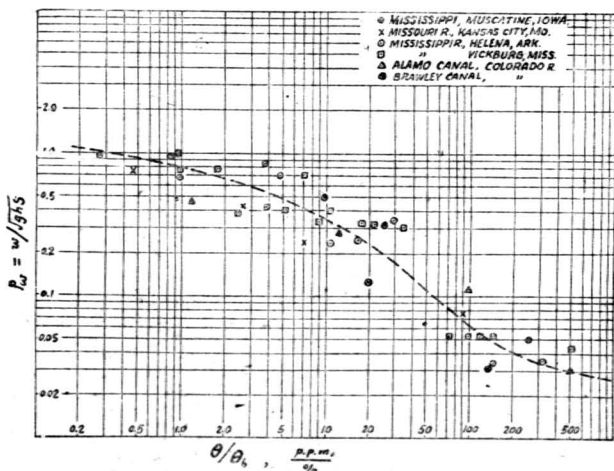


圖 15 實測河底附近懸移質與底質相對沙量與顆粒大小之關係

圖中 θ 之單位為 p.p.m. (百萬分數)， θ_b 係沉速為 ω 之顆粒在底質中所佔之百分數。

圖 15 顯示：(a) 未發現 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} \geq 1$ 之沙粒懸移于河底附近，此與理論關係所示吻合。故此值

又可謂之沙粒為紊動激起之上限。(b) $0.2 > \frac{\omega}{\sqrt{ghs}} > 0.08$ 之顆粒紀錄點甚少。

圖 15 未說明含沙量係取之於何種相對水深，今依據速水氏之穩定條件兩假設，用式 (31)，計算

各紀錄點之相對水深 ξ 值。計算結果如下：凡 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} > 0.3$ 之顆粒，均採自 $\xi = 0.99$ 至 0.999 一帶；

而 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} \approx 0.14$ 之顆粒，其 ξ 值約為 0.50 至 0.80 ；而 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} < 0.10$ 之顆粒，其 $\xi = 0$ 後兩者之計算，

不合實際情況。但吾人必須注意式 (31) 之基本假設：穩定河道之各種沙粒，均懸移於河底附近。故事實與理論之在小顆粒偏差，似為不可避免者。

由於以上之計算觀之，Lane 與 Kaluske 兩氏之函數關係式 (式 45)，可根據速水之假設以式 (31) 或式 (24) 表示之。

長江下游河底之穩定性。

速水氏在長江下游採集底質，分析其粒配度，研究結果，認為長江下游，係近乎穩定狀態。

實際河道之水深，比降，係不斷變化者，故 \sqrt{ghs} 之值，亦顯有變化。長江下游之平均水深，平均比降， \sqrt{ghs} 各值，如表 9 所示。

表 9. 長江下游之 h, s, \sqrt{ghs} 各值表

區 間		洪水時	低水時	中水時
吳淞—鎮江	平均水深 h (m)	23.7	20.5	22.0
	平均比降 s (-10^5)	1.4	0.7	1.2
	\sqrt{ghs}	5.8	3.8	5.1
鎮江—蕪湖	平均水深 h (m)	29.9	23.1	26.1
	平均比降 s (-10^5)	2.6	0.5	1.4
	\sqrt{ghs}	8.8	4.0	6.0
蕪湖—安慶	平均水深 h (m)	28.7	18.1	23.1
	平均比降 s (-10^5)	2.7	0.6	1.8
	\sqrt{ghs}	8.8	3.3	6.4
安慶—九江	平均水深 h (m)	28.0	15.2	21.6
	平均比降 s (-10^5)	2.3	2.1	2.4
	\sqrt{ghs}	8.0	3.6	7.2
九江—漢口	平均水深 h (m)	29.4	15.0	21.8
	平均比降 s (-10^5)	3.1	2.0	2.1
	\sqrt{ghs}	9.5	5.5	6.8
漢口—城陵磯	平均水深 h (m)	24.5	9.1	15.6
	平均比降 s (-10^5)	2.0	2.3	2.0
	\sqrt{ghs}	7.0	4.6	5.6

根據前節所述：理論底質組合之含沙量最多者為 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 之沙粒，約佔河底總沙量之 42.11 % (式 40)。長江下游之 \sqrt{ghs} 值，約為 5 至 7 (表 9)，今自 $\frac{\omega}{\sqrt{ghs}} = 0.3$ 式，計算河底之理論含沙量最多之沙粒，係為粒徑 0.16 至 0.21 mm 者 (表 10)

連水氏在長江下游採集河底沙樣達百數十次，分析每次沙樣之最多含沙量之顆粒大小，以其結果列為表11。

表中數字，係採採取沙樣之次數。

表10 長江下游理論底質之最多含沙量之顆粒

\sqrt{ghs}	5	6	7
ω (cm/sec)	1.5	1.8	2.1
平均直徑mm	0.16	0.19	0.21

表11 長江下游之最多含沙量之顆粒大小之分佈情形

區間	粒徑mm						
	0.07	0.10	0.15	0.20	0.25	0.35	0.42
吳淞—鎮江			3	6	2		
鎮江—蕪湖			2	8	1	3	
蕪湖—安慶			2	7		3	
安慶—九江			2	7	1	3	1
九江—漢口	2	9	32	2	4		2
漢口—城陵磯	2	12	30	1	6		4
共計次數	4	30	90	7	19		7

上表顯示長江下游之河底，主要係粒徑為0.10—0.20mm之沙粒組成，與表10之理論值，甚為近似。故河道係呈穩定之狀態。

現試以理論與實際之底質組合曲線作一比較，視其是否相合。圖16，除富池口一地外，兩曲線頗為一致，而僅在微小顆粒處，略有偏差。

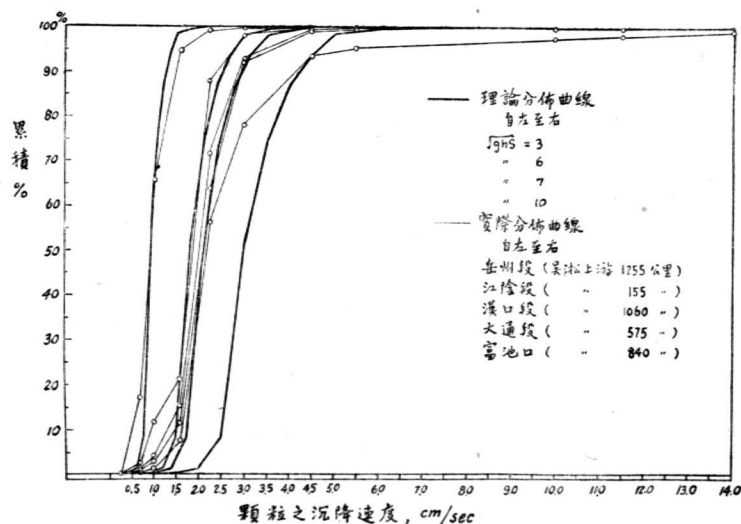


圖16 長江下游之底質組合曲線

緣理論組合，係設各種顆粒均懸移轉于河底附近，而實際上之小顆粒并非符合理論。故實際與理論在小顆粒方面之編差，亦為合理。又小顆粒之達於平衡，恆需較長之時間，而實際河道之外在環境，係不變化者，故懸移質與河底組合，甚難獲得完全之平衡。但一般河道河底所含小顆粒甚少，故對於河底之穩定性，除在洩水處（ h 變小）或河口處（ S 變小）外，其影響甚為微弱。

富池口累積曲線之差異，表示該段河道底質與其他穩定地段不同，故其穩定性消失。因之，沙洲或河灣隨之發生。但通觀，長江下游，係處於穩定狀態之下。

河道底質之組成，如上所論，係決諸於 $\frac{\omega}{v^2 g h s}$ 數值。今試就水溫對於該值之影響程度，討論河道底質之穩定性。

查長江最大水深明為七至八月，此時之 \sqrt{ghs} 數值變大；其時溫度為最高，水溫高，則其粘滯系数減小，沙流沉速亦曾大，就長江而言，連水氏研究結果，謂此兩者之變化程度，幾乎相同。亦即長江之 $\frac{\omega}{v^2 g h s}$ 數值，常保無大變化也。故一般而論，長江下游之河床，係達於理想之穩定狀態。

關於黃河河床之穩定性，亦可以同法研究之。黃河下游河床變遷極大， \sqrt{ghs} 之值變化無定，因有中刷與淤積，且懸移質多為黃土，較重極為微細，故其情形當與長江之理想穩定狀態迥然不同矣。

本文參攷書目

- A. A. Kalinske: Relation of the Statistical Theory of Turbulence to Hydraulics, Trans. A. S. C. E., Vol. 105, 1940.
- G. I. Taylor: Statistical Theory of Turbulence, Proc. of Royal Society of London, Vol. 151, 1935.
- A. A. Kalinske: Investigations of Liquid Turbulence and Suspended Material Transportation.
- A. A. Kalinske & C. L. Pien: Experiments on Eddy - Diffusion and Suspended-Material Transportation in Open Channels, Trans., Amer. Geophys. Union, 1943.
- E. W. Lane & A. A. Kalinske: Engineering Calculations of Suspended Sediment, Trans., Amer. Geophys. Union, 1941.
- N. A. Vanoni: Transportation of Suspended Sediment by Water, Trans., A. S. C. E., Vol. 111, 1946.
- S. Hayami (速水頌一郎): Hydrological Studies on the Yangtze River China.
 II. A Theory of Silt Transportation by Running Water, 1938,
 IV. On the Mechanics of Flow in a Wide Alluvial River, 1939, Journal of Shanghai Science Institute, Section I, Vol. I, 1940.
 VI. On the Composition of the Bed Sediments in the Lower Yangtze River System.
 VII. On the Stability of an Erodible River Bed, With Special Reference to the Lower Yangtze River, J. Shanghai Sci Inst., New Series, Vol. I, No. I, 1941.
- 速水頌一郎：長江與黃河之性格及其研究方法(演講稿) 1946
- 陳善謨：Mean Value and Correlation Problems connected with the Motion of small Particles suspended in a Turbulent Fluid, Martinus Nijhoff, Hague, 1947.

異重流及水庫減淤⁽¹⁾

李 煥⁽²⁾

(一) 前 言

水庫淤積問題乃近代水利工程中亟待解決之困難問題之一，在已建之水庫中，因淤沙而失效用者，已不勝枚舉。目前世界最大之 Mead 水庫，根據估計，只需百五十年即將因淤沙而全部失效，中國將來欲建大壩儲水，作各河流多元開發，將遭更嚴重之淤沙問題。黃河及華北諸水含沙量數倍於 Colorado 河（即 Mead 水庫所在地），苟築庫而不能制淤，則其埋廢將指日而待。

異重流（Density Current）之發現乃晚近之事，1935年 Mead 水庫異重流之發生始引起世人之廣泛注意，此不僅為工程師所注意之問題，亦為物理學家，氣象學家及地質學家所感興趣者，然以歷史短暫，有關理論尚未臻成熟，筆者因鑒於在適當情況下，異重流或可為減低水庫淤積之有效工具，爰草成斯篇以資介紹。

(二) 異重流之定義及舉例

冬日，開暖室之門，室外冷空氣即沿地板流到室內，同時暖空氣從門之上部流出室外，此種流動即為異重流之一例，冷空氣與暖空氣之其他性質相同，所不同者前者之密度較後者為大，其結果由於重力作用而生相對流動。由此解釋，吾人可為異重流下一定義曰：“兩種或兩種以上之流體，因密度有輕微之差異，而生相對流動不至全部混和之現象，謂之異重流”。

在空氣下之河流是一種重力流，然並非異重流，因水之密度幾達空氣之八百倍，若寒冷之河流流入溫暖之湖沼中仍能繼續成一分離水流，直至湖之最低處，如湖水溫度為 67°F，河流水溫為 60°F，則河水重約為湖水之 1.0008 倍，兩者相差極微，此可稱為異重流，普通實驗室所能分辨之異重流，其密度差異每為上例之十倍以上。

異重流是一項極普遍之自然現象，在大氣中吾人可見雲霧之移動，風沙之進行，工廠所生之煙霧，高速汽車所引起之塵埃皆為異重流。在海洋，湖沼，水庫中，異重流亦同樣普遍，然不為一般人所熟悉者，乃因在水中所發生之異重流，往往不易觀察，因含鹽分不同或溫度不同而生之異重流，為不可目睹，因含沙量不同而生之異重流，通常亦深入湖底，非目力所能及。

河水入海形成異重流為極普遍者，含沙較微之河流其密度小於含多量鹽分之海水（參看表二及表三），在入海處可以見到泥水成層狀遍漫於深藍色海水水面，黃海之得名，乃此種現象所產生之結果，普通此種表面流層之範圍較小，然 Amazon 河之含泥沙水流能漫於南大西洋達數百哩，同理，較重之海水往往能沿河底深入內地至驚人距離，而招致海口港埠之給水困難問題。

Colorado 河之 Boulder 壩形成世界最大之 Mead 水庫，壩頂高出河床 600 呎（從壩基最低點至壩最高點有 731 呎），水庫原始容量 30,500,000 畝呎，合 37,700,000,000 m³，約為該河年平均

(1) 本文承張君偉及張禮輝兩先生指導並以此致謝。

(2) 中央水利實驗處助理研究員

逐流量之兩倍，當水庫充滿時，週水線長達 115 哩，表面面積達 145,000 畝。

該水庫於1935年2月1日開始儲水，壩後旋成碧湖，迨2月15日，19日及23至25日突有濁流於排出之水流中發現，致其原因，始知係上游降落暴雨，逐流攜挾泥沙，潛流庫底，而由排水洞中洩出，惜排水洞於翌年5月即行封閉，此後異重流即無由排洩。

雖然在2月23至25日之濁流中，未測量其含沙量，然在引水涵洞進水口處取有樣品，可以斷定含沙層之高度位置，從樣品中可知此種異重流發生於原來河床之底部，中央深度約有2呎，同時並曾在壩上游20哩之Boulder Canyon窺得濁流潛行於庫底中央，其左右及表層皆為清水，於是異重流發生於Mead湖之事，因而斷定無疑，並引起水利界專家之廣泛注意。

其餘如Elephant Butte水庫，Issaqueena水庫等數十處對異重水流皆有所報道，H.S. Bell及余恆睦先生等先後於試驗室中加以驗證，昔日於此問題之懷疑於焉大白。

(三) 天然水流中產生異重流之因素

天然水流中產生異重流主要因素有二：一為密度之差異，一為促使流動之能坡，流層表面或河底之坡度以及壓力差皆足以促成異重流，其作用與普通重力流相異，密度差則為產生異重流之不可或少之因素。

天然水流比重之不同，多因溫度，溶解鹽類及所攜懸移質三者之差異而起，三者或單獨作用，或混合作用，其情形每相當複雜，表(一)表(二)及表(三)可說明該因子影響水流比重變化之程度。

表一 各種溫度對水流比重之關係

溫度 (F°)	比 重
15°	0.99831
20°	.99898
25°	.99947
30°	.99979
32°	.99987
35°	.99996
39.3°	1.00000
40°	0.99999
45°	.99992
50°	.99975
55°	.99946
60°	.99907
65°	.99859
70°	.99802
75°	.99739
80°	.99669
85°	.99592
90°	.99510
95°	.99418
100°	.99318

表二 溶解鹽分對水流比重之關係
(溫度為32°F)

含鹽之百分數	水 之 比 重	
	氯化鈉	硫酸鈉
0.1%	1.00074	1.00094
0.2%	1.00148	.00188
0.5%	1.00373	1.0047
1%	1.00747	1.0094
2%	1.01509	1.0189
4%	1.03038	1.0381
8%	1.06121	1.0773
12%	1.09244	1.1174
16%	1.12419	1.1585
20%	1.15663	1.2008
24%	1.18999	1.2443

含沙量對水流比重之關係
(溫度為 39.3°F)

含沙量之百分數	水之比重
0	1.00000
0.1	1.00063
0.2	1.00126
0.5	1.00315
1.0	1.00634
2.0	1.0128
5.0	1.0325
10.0	1.0682
15.0	1.108
20	1.144
25	1.187
30	1.233
35	1.283
40	1.337
45	1.396
50	1.460

間各段河床之平均比降大者逾¹/_{1,000}，小者亦¹/_{3,000}，如於該段中建蓄水庫，洪水時期庫內發生異重流殆必然之事。

(四) 異重流之特性

河水流入水庫或湖泊，如其比重較後者為小，則將漫流於庫水或湖水之表層，而呈在上異重流；如其比重較後者為大，則將潛行於庫底或湖底，而呈在下異重流；如其比重大於後者之表層而小於後者之底層，則將由中層流過，而呈中間異重流。第一種現象多發生於河水較庫水或湖水溫度為高之情況中，後兩種現象則為含沙河水流入水庫或湖泊時所常見者。

異重流除具備普通水流之通性外，並有下列諸特性：

(一) 異重流大別於正常流者乃由於周圍流層之浮力而大減其重力，例如混濁水流流入潔淨之水庫，假若濁流重量為每立方呎64磅，淨水重每立方呎62.5磅，在水流未入庫前作用於每立方呎濁流有效驅動力 (Effective Driving Force) 為64磅乘河底之坡降，然當同一立方呎濁流流入水庫成為異重流，則驅動力減為1.5磅乘坡降，不及前者¹/₄₀。然濁流之動量乃不受周圍淨水浮力所影響。

(二) 普通明渠中，慣性之影響 (Inertia Effects) 不為重視，然異重流由於重力之數值大減，致慣性影響相當重要，自上方超越障礙物前進之現象，為異重流中所習見者。

(三) 異重流四周皆與磨阻面相接觸，由磨阻作用，使一部分能變為紊動能 (Turbulence Energy) 致增加紊動程度，在明流中空氣與水面間之磨阻，其數值甚小，可以忽略不計。

(四) 在上異重流流入比重較大之流層中，促使流動之能力，或得之於開放洩水孔及溢水道等兩邊之壓力差，或由於流層逐漸減薄所生之負水力坡降 (Negative Hydraulic Slope)，在後一情況下，乃係自下向上作爬坡式之流動。在下異重流，其持以流動之能力或由於開放洩水孔兩邊之壓力差，或由於傾斜方向與流向相同之正水力坡降。

(五) 前項中諸因子皆可為促成中間異重流之能量來源，中間異重流時或分數層同時發生，在

在普通情況下，溫度之差異，最大不過 30°F，即影響於比重之變化常小於³/_{1,000}，天然河流中含鹽量鮮有逾 8,000 P.P.M. (0.8%) 者，即影響於比重之變化常小於1%。當含沙量為2%時，其影響於比重之變化即達1.28%，故對於含沙量在5%以上之異重流言，溫度與含鹽量之影響，乃佔次要地位，而可以不計。

在清澈水庫中，因渾水入庫而發生異重流，疑者或謂入庫渾水之含沙量不能小於某一限度，Greager 謂不能小於2%，Lewis 謂不能小於1.5%—50%，而 Wiebe 根據 Norris 水庫之情形謂含沙量小至0.03%—0.05%仍有異重流發生。實則庫底之比降如何，深水槽之形式如何，糙率係數如何，以及渾水入庫時之紊亂情形如何，皆為影響異重流發生與否之重要因素，不能徒舉含沙量一端而定其最低限度也。黃河陝縣站在大水季月之含沙量每大於3%，記錄中之最高值為46.14%，而通稱至孟津

此種情況下，常持改變流層之厚度而得能坡。

(六) 欲維持異重流之存在，必須保持其能坡及密度差異，避言之，當能坡或密度差異消失，則異重流即將作減速運動而終於停止。

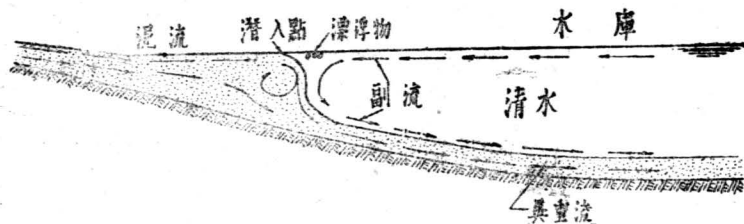
(五) 異重流與周圍流體之混合

異重流與周圍流體。雖不全部混合，局部混合仍難避免，局部混合可別為兩種：(一)特殊地點之混合。(二)兩流類交流面間之混合。茲分述如下：

(一) 特殊地點之混合

(甲) 當較重之流體流入幅積較大比重較輕之流體中(如渾水入庫)，在其流入點由於動量之突然變遷而生衝擊損失，放出大量能量，造成局部混合，此種能量之數值雖大，然每一單位流量所產生之能量有一定之限度，當此種能量耗盡，混合即告中止，通常此種能量遠不足以促流入之異重流全部混合，而僅能沖淡異重流，增加其稀積而已。

(乙) 當促使相混之能量耗盡，仍未能產生全部混合，比較淡薄之水流離開表面而下潛於蓄水庫底部繼續前流。圖(一)表示當泥水流入蓄水庫之情形，在表面所顯示異重流離開表面潛入底部之開始點名曰「潛入點」，潛入點以下為另一局部混合區。潛入點之混合乃單純由於進口衝擊損失所生能量所致，潛入點以下之混合區之生成，尚持另外能量來源，欲明瞭此點，先要研究異重流其他狀態。異重流流於蓄水庫底，在異重流與庫水之交流面間恆有剪力存在，剪力作用能洩引部分庫水與之同流，結果為維持平衡狀態，在水庫上部必有相反之水流發生，而成循環副流，此副流與經過潛入點混合後之異重流相遇，發生衝擊，放出能量而供再度混合之需。由於副流循環之結果，使潛入點處極易發現，所有漂浮物，不論為異重流所帶或蓄水庫所存有者，皆集中於該區，Mead水庫所形成之「木羣」，能橫貫兩岸形成大觀。



圖(一) 泥沙入水庫及副流循環圖

(丙) 在異重流所經之途徑中，任何較大之障礙皆足以促成局部混合，例如狹而急之轉彎，跌漣，護壩等皆是。

(二) 交流面間之混合

兩層因比重不同而生相對流動之流體，其相交之面，謂之交流面，關於交流面之混合作用，學者觀點不同，聞言各殊，然要皆殊途而同歸，其中之波動說，立論穩健，堪予介紹，持此說者以為異重流交流面之混合乃原於波動現象，亦能以通常水面波動定律加以計算，由於波浪之破碎方使交流面起交混現象，上下層之物質始得經交流面而混合。蓋波浪破碎，其結果不外兩端，其一為將已層水質棄於隣層，其二為將隣層水質滲入己層，作用雖殊，其為混合劑一。反之，如但有波動，而不破碎，則縱令交流面起伏不定，仍無混合發生。就 Helmholtz 之解題，波之破碎，乃由於上下兩

層中相反之流速各小於其間向之流速使然，苟波速各大於其間向之流速，則波頂圓亮，而不破碎。

關於波速之計算，Lamb 曾假定兩層流體各有無限深度（即屬於深水波），得公式如下：

$$C = \frac{\delta}{k} = \frac{\rho u + \rho' u'}{\rho + \rho'} \pm \left\{ \frac{g}{k} \frac{\rho - \rho'}{\rho + \rho'} - \frac{\rho \rho'}{(\rho + \rho')^2} (u - u')^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

式中 ρ 為底層之密度， u 為底層之流速，

ρ' 為上層之密度， u' 為上層之流速，

C 為波長 $L = \frac{2\pi}{k}$ 之絕對速度。

此式應用於異重流中，因兩者之密度差甚微故可用 $\rho - \rho' = \Delta\rho$ ， $\rho + \rho' = 2\rho$ 代入 (1) 式中，得

$$C = \frac{u+u'}{2} \pm \left\{ \frac{g}{k} \frac{\Delta\rho}{2\rho} - \left(\frac{u-u'}{2} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

假如兩層皆不動，則 $\frac{g}{k} \frac{\Delta\rho}{2\rho}$ 為 C 之平方數。式 (2) 中基本觀念乃表示兩流層交流面間之流速為兩者之平均速度，加或減其對於平均速度之相對速度，式中對平均速度之相對速度表示為兩平方數之差之開方根，故若兩者之差為負數，則開方根為虛數，即波動系統不能呈穩定狀態，而必致破碎。

交流面間之混合足以減低交流面間之流速差，因而自動限制混合現象之繼續增長。減低流速差之因素有二：

(1) 因混合作用，自下層（流速較快）捲入上層（流速較慢）之水質，動量減小，因而對上層水流產生推移作用，使其流速加快；自上層落入下層之水質，動量增大，因而對下層水流產生阻滯作用，使其流速減小。因此，慢者變快，快者變慢，流速差遂得降低，前文中所謂交流面者，實際上乃一流速介乎上下兩層流速之間之交流層也。

(2) 因混合作用，使原有之異重流於容納上層混入水質後，密度變小，流勢削弱。由於溫度差異而生之異重流，經交流面上之混合及導熱作用，溫度可能逐漸趨於一致，終於兩層流體完全混合，異重流因而消失。

異重流對於交流層紊動結構 (Turbulence Structure) 之影響及周圍流體之關係，目前仍未能有充分之了解，此處僅能略予闡述如下：

(一) 任何兩密度不同之流層，不論其有無相對運動，皆有阻止紊亂交流之趨勢，然當促使紊亂之動量達到某種程度，仍足以穿過交流面相混合。

(二) 如異重流諸流層之厚度較亂流中之平均紊動長 (Mean free path of the turbulence fluctuations) 為小時，其結果將減小垂直流層方面之紊動。

(三) 當相對速度存在時，在流層內之混亂將產生表面擾亂於交流面間，有助於交流面波動之生成及破碎。

(四) 流體流過固定之交界時，所產生之紊亂現象視流速與交界表面之糙率而異。同理，異重流於交流面上所生之混亂狀態乃相對速度與波動狀況之函數。

(五) 含泥異重流所持之流勢厥為其所攜挾之懸移質，懸移質之浮游須賴水流中某種紊動程度以維持之。因固定交界之糙率及交流面間之相對速度皆對紊動程度發生影響，其平衡遂為一極複雜之現象。例如泥水流入淨水蓄水庫，假定在過某定點時，其懸移質已達飽和限度，流速低於波動速度，交流面間無混合發生，過此點後，若流速漸減，紊亂狀態隨之降低，原有懸移質遂不能全

部狹窄，而生部分沉澱，由是速度減低，速度變小，若流速之減低不似波速減低之甚，終至波速小於流速，則交流面勢將因波浪之破碎發生混合作用，將增加紊動程度，而促進水流攪沙能力，因得復達於新平衡狀態。惟此種解述，乃純就理論出發，探奧索源，仍有待於試驗及實際觀察也。

(六) 如何利用異重流減低水庫泥沙淤積

水庫防淤方法可約分為六大類；(1)水庫位置之選擇。(2)水庫之設計。(3)對泥沙流入水庫之控制。(4)水庫中泥沙沉澱之防止。(5)已沉積泥沙之排除。(6)流域沖刷之控制。

(1)(2)兩類乃利用水庫之位置與大小，以減少水庫淤沙之損害，(3)(4)(5)諸類包括各種不同之方法對水庫泥沙永久淤積之防止，第(6)類乃從事流域上之水土保持工作，以減少水庫泥沙之來源。

水庫有防洪水庫與蓄水水庫兩大分類，在兩種水庫中，泥沙之淤積情形亦大異，防洪水庫之作用止於調節洪水，洪水過後，水庫隨之洩空，故泥沙之宣洩尚較容易，蓄水水庫則不然，壩後水位須維持不低於一定限度，藉門閘直接排淤之辦法，遂不能應用。

在蓄水水庫中，若能對異重流善為利用，可期減低淤積速率，因而增加水庫有效壽命。惟欲利用異重流減淤，須具備下列兩大前提：

(一)水庫之選水綫內河床比降較陡，並有較為深狹之河槽以利異重流之發生，壩址處有適當門閘，以利異重流之宣洩。

(二)河水所挾泥沙，顆粒較小，為異重流所克攜——關於異重流挾運泥沙之能力，過去並無數字之分析，惟據一般報告，可知水庫內已見之異重流，其流速多不逾每小時1哩(0.45m./sec.)，所挾泥沙之直徑多在0.02mm.以下，亦間有達0.05mm.者。

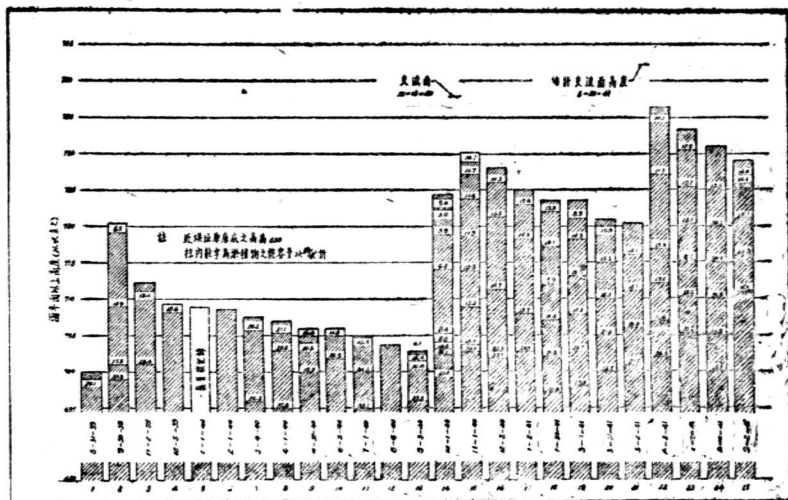
明乎上述兩項前提，即可知利用異重流減淤在工程上有須加注意之數事如下：

壩址之選擇——就異重流之觀點選擇壩址，以壩成後能形式狹式水庫為最理想，不特希望庫底比降較大，抑且期其有V形深狹河槽。

洩水門閘之設計——洩水門閘之大小、位置、高低以及開闔方式皆須針對所欲排除之異重流特加致慮。設建壩之初，有藉護壩(Coffer Dam)及山洞排洩，則在適當設計下，此項排洩工程即可為他日宣洩異重流之資，一物兩用，不僅符合工程經濟原則，並可望保持自正壩以迄上流護壩之間之水庫經常清澈，於壩下取水因得種種利便。

庫內深水槽綫之維持——在較大之蓄水水庫中，選水綫往往甚長，異重流潛行其中，每屆時頗久，壩址附近縱安置洩水設備，其效果僅止於宣洩異重流，不令發生沉澱，並不能促成及維持護壩較遠處之異重流之運行。事實上洩水門閘之開啓，將俟異重流抵達門閘以後為之，如開啓過早，則徒犧牲原儲清水，不能使上流異重流之流速作顯著之增加。由此可知欲促成異重流之產生及維持其進行，非可獨恃洩水設備，而必須設法保持原有之深水槽綫及河床比降，實際上欲達到此項目之之可能性各地不同，殊難一概而論，設計時須致慮經濟原則，審定取舍。

與其他防淤工程之配合——異重流以其流速不大，僅能攜挾顆粒較小之沙泥，如能於水庫上流，擇地建攔沙壩，攔截顆粒較大之推移質等，彼此配合，庶幾相得益彰。至於其他流域防沖方法，自皆與利用異重流減淤之法相成而不相悖。



圖(二) Mead水庫淤積物增加狀況圖

圖二所表示之記錄乃美國墾務局 (United States Bureau of Reclamation) 在 Boulder 壩後之實測結果，取樣地點在正壩與護壩之間。自該壩上流之排水洞關閉後，由異重流帶入水庫之泥沙，盡行淤澱。圖二即表示淤積物繼續增加之現象。研究該圖可知自 1938 年 8 月 31 日至 1941 年 7 月 2 日間至少有五次泥流到達取樣處所，其中三次明顯可見，第 9、10 柱與 18、19 柱所表示之兩次記錄稍欠清楚，從圖二中可知沉於湖底之泥沙結構非常疏鬆，勢難承受因水流而生之任何剪力，設壩脚有適當之洩水設備，其可能排刷殆為勿庸置疑者。

在 1936 年 5 月 1 日 Mead 水庫之涵洞關閉後之 61 月間，異重流每週平均運輸 875,000 噸之泥沙至 Mead 水庫中，總計所携泥沙之容量為 388,000 畝呎，為 Mead 水庫固定溢水道以下原有容量 1.35%，假定淤積物之乾容重為每立方呎 60 磅，則異重流運輸之泥沙每 2 年能佔有水庫容量 1%。

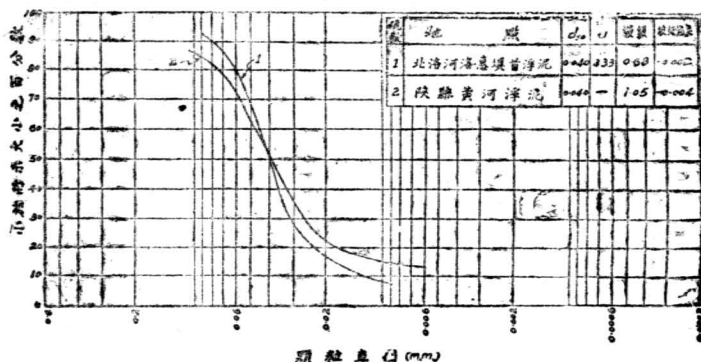
Steven 依目前情形估計 Mead 水庫約 144 年即將為泥沙淤滿，其由異重流所攜之泥沙約佔水庫容量 24%，若其中 75% 可持適當之設備予以直洩，即可延長水庫總壽命 20%，異重流減淤價值之堪重視，於此昭然。

(七) 尾 語

● 異重流發現之歷史尚短，其研究現正開始，應用於實際工程，猶乏前例。近年來美國水利專家對異重流非常重視，美國土壤保持局 (Soil Conservation Service) 及加利福尼亞理工學院合辦之水利試驗室對異重流研究甚力。Mead 水庫及 Elephant Butte 水庫等處亦不乏實際觀測研究之報道，惟目前理論仍限於現象之說明，而未進入數量之分析，我國黃河及永定河等泥沙問題之嚴重屬於我國，將來欲從事多元計劃之開發，建築水庫，對異重流之研討更屬重要。

黃河幹支流各處頗不乏宜於建築峽式水庫之地址，且黃河之懸移質顆粒細小，圖三為中央水利實驗處之分析結果，由該圖可知顆粒在 0.02mm 以下者約佔20%，在 0.04mm 以下者約佔50%，於此種情況下異重流似可能作為有效利用。

至於對本問題未來之展望如何，要須視吾人致力之程度為斷，本文主旨，在於以之介紹於我水利界人士之前，期喚起廣泛之注意耳。文中關於異重流之特性及其與周圍流體混合現象之說明，悉根據R. T. Knapp之見解，原文見所附參考書目。



圖(三) 黃河泥沙顆粒分析圖

本文參考書目：

1. "Silt Problem" By J. C. Stevens, Proceedings A. S. C. E. Oct. 1934.
2. "Stratified Flow in Reservoirs and its Use in Prevention of Silting" By H. S. Bell, Miscellaneous Publication No. 491, United States Department of Agriculture, Sept. 1942.
3. "Density Currents: Their Mixing Characteristics and Their Effect on the Turbulence Structure of the Associated Flow" By Robert T. Knapp, Proceedings of the Second Hydraulics Conference, June 1942.
4. "The Passage of Turbid Water Through Lake Mead" By Nathan C. Grover and Charles S. Howard, Transactions, A. S. C. E., Vol. 103, 1938.
5. "The Control of Reservoir Silting" By Carl B. Brown, Miscellaneous Publication No. 521, United States Department of Agriculture, revised, Oct. 1944.

於三門峽建築攔洪水庫淤積問題之初步研討

張 瑞 瑾*

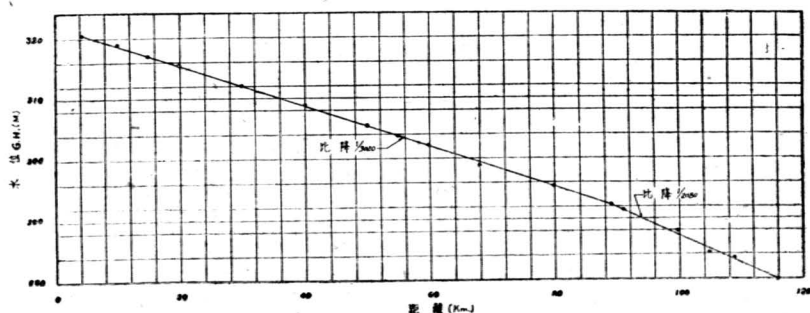
(一) 前 言

熟諳黃河河性者，無不認為建築攔洪水庫為解決黃河下游洪災有效辦法之一，蓋：

- (1) 黃河洪水流量與低水流量之比值大；
- (2) 黃河洪水經時不長；
- (3) 黃河洪水量(Flood Volume.)不大；
- (4) 在黃河幹支流中，頗不乏適宜建築水庫之地址。

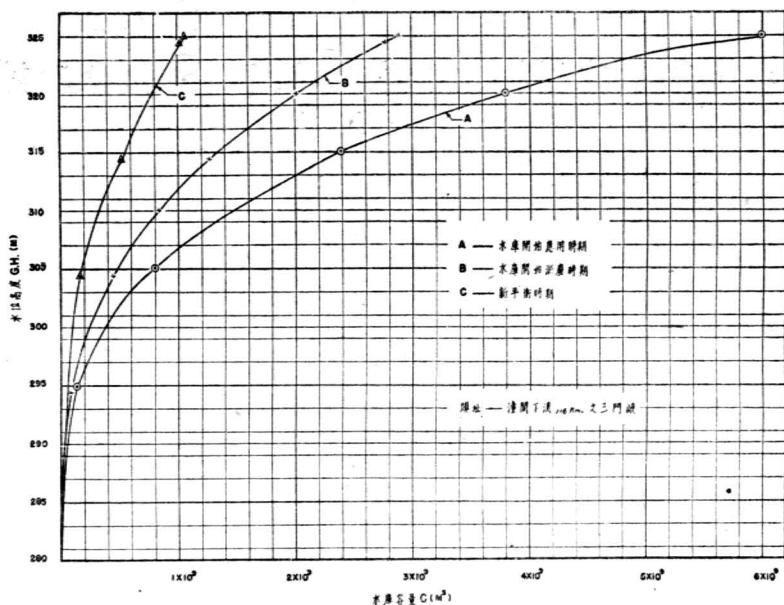
凡此皆為建築攔洪水庫之有利條件，其唯一不利之條件厥為黃河洪水挾沙甚夥，庫成後，可能壅時不久，即行淤廢，因而違反工程經濟原則，諸水利專家，對築庫之議遂不無躊躇。水庫淤積問題，甚為繁雜，從事研究之正確步驟，舍試驗外，幾無路可尋。關於含沙水流之試驗工作在吾國可謂猶未創始，故就學理之成熟言，目前討論本題，實嫌過早。惟自日人倡議於三門峽建壩以還，中外人士主張於三門峽或八里胡同建壩築庫者甚衆，因之，就現有資料對水庫淤積問題加以分析，期獲初步概念，或為留心本問題之人士所樂許歟？

就後文中分析結果，如於三門峽建壩，令壩後最高水位達325m。(大沽基點以上，後文同此)，週水上漲灌開，入庫流量到達6,000c.m.s.開壩發生攔洪作用，最大出庫流量限為8,000 c.m.s.，洪水過後水庫即行洩空，則在38年以內足以調節 28,000 c.m.s. 以下之洪水；自庫成38年以後，如復遇 28,000 c.m.s. 之高洪，出庫流量即將超過 8,000 c.m.s. 迨至60年，水庫因淤積而達新平衡



圖(一)自潼關至三門峽之水面比降(Q=1000cms)

*中央水利實驗所研究員

圖(二) 水庫容量C(M)³

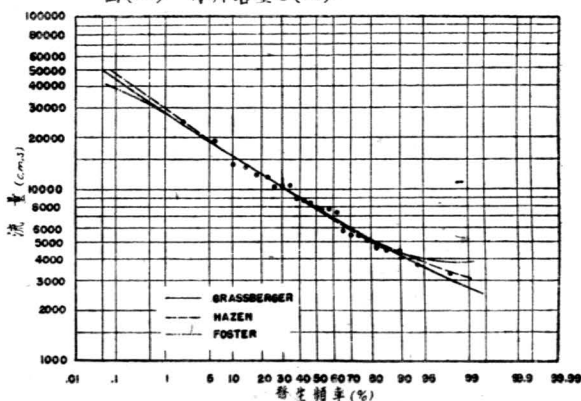
狀態，此時最大容量僅剩 $1.074 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，約為初時之 1/6，此後容量將不再逐年遞減。

此項結果，乃本諸現有資料及目前可能採用之分析方法而得，其準確程度如何，筆者殊不欲武斷，除以之就教於方家外，並願俟未來之試驗研究結果有以校正之。

(二) 水庫、洪水流量及輸沙量

蓄水庫與攔洪水庫之區別在於前者經常保持庫內水深不小於某一限度，而後者當洪水過後，即行洩空，在兩種水庫中泥沙運行、淤積、排刷之道各異，本文僅限於後者。

三門峽在潼關下流 116 km，其間黃河河谷數次放，各點寬窄相差甚大，自潼關至其下流 89



圖(三) 陝縣洪水頻率

km.處 $Q \cong 1,000$ c. m. s. 時之水面比降為 1 : 3,020, 以下至三門峽為 1 : 2,080 [圖一]。如於三門峽建壩, 高出低水位約 45m., 使壩後水位最高達 325m., 迴水上抵灑關, 可得水庫最大容積 6×10^9 m.³ [圖(二) 曲線 A]

本文假定於三門峽建築之攔河壩, 其壩脚及兩側置有寬大涵洞, 並附控制閘門, 入庫流量在 6,000 c. m. s. 以下時幾不生攔蓄作用, 當壩後水位到達 295.4m., 涵洞之總洩量可達 8,000c. m. s., 水位更高, 則酌量關閉閘門, 保持最大洩量不逾 8,000c. m. s.

就陳椿庭君*根據中央水利實驗處之統計資料分析結果, 得陝縣最大洪水頻率曲線如圖(三)所示, 自該圖獲知頻率為 1% 之洪水流量為 28,000c. m. s. 其餘洪水發生之頻率如下:

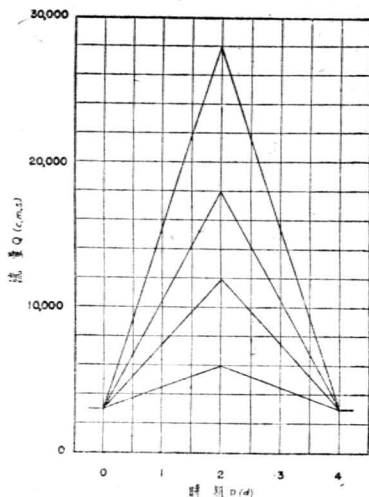
> 28,000 c. m. s.	頻率 = 1%
28,000—18,000 c. m. s.	4%
18,000—12,000 c. m. s.	15%
12,000—6,000 c. m. s.	50%

今以 28,000 c. m. s. 為研究水庫淤積問題之最大流量, 假定工程折舊壽命為 50 年。在 50 年中獲遇如此高洪之機率為 1%。

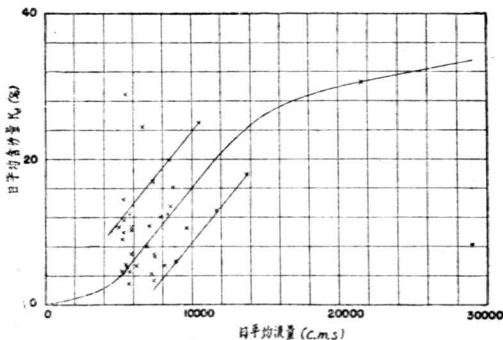
為便於目前研究計, 假定各洪水之漲落如圖(四), 洪水經期均為 4 天, 並假定大水季月之基流 (Base Flow) 為 3,000 c. m. s.

復就葉永毅君所編黃河水文⁽¹⁾之基本資料繪成圖(五), 而得日平均流量與日平均含沙量之大意關係。圖五中諸點位置之散亂乃意料中事, 然

所顯示之一般趨向仍可為初步研究之助也。圖(六)之(1)至(IV)諸幅乃根據圖(四)及(五)繪成, 而由圖(六)即可計算各種洪水平均攜挾泥沙之數量 [表(一)], 徵諸實際記錄亦可知表(一)所列各種洪水之輸沙量與實際情形大致符合, 筆者曾分析民國 31 年 8 月初旬一度洪水之輸沙量, 計得 $1,257 \times 10^6$ tons., 該次洪水之洪峯為 25,000 c. m. s. 蓋與表(一)所列洪峯為 28,000c. m. s. 時之洪水期中之輸沙量 $1,330 \times 10^6$ tons 相近也。



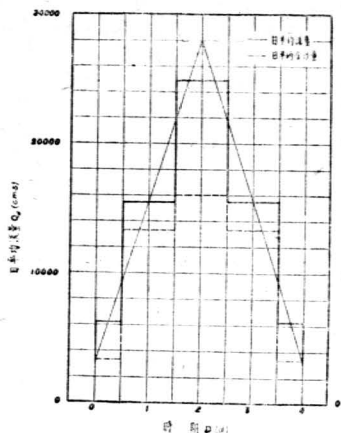
圖(四) 假定洪水



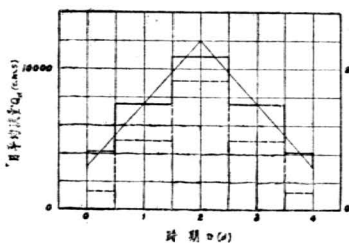
圖(五) 日平均含沙量與日平均流量之關係

*中央水利實驗處研究員

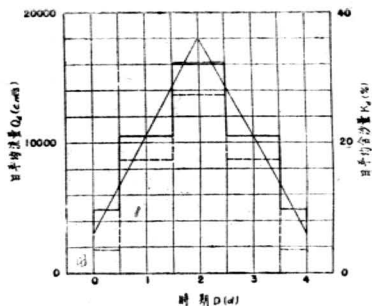
(1) 有此種符號處, 請參看文末書目。



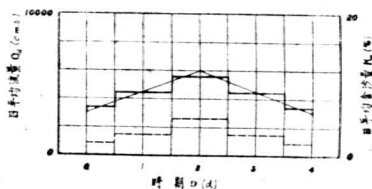
(I) 洪峯 = 28,000c.m.s.



(III) 洪峯 = 12,000c.m.s.



(II) 洪峯 = 18,000c.m.s.



(IV) 洪峯 = 6,000c.m.s.

圖(六) 假定日平均洪水流量及含沙量

(三) 水庫中淤積及冲刷現象

泥沙冲刷與淤積現象至為複雜，但就流體力學觀點論之，控制冲刷及淤積現象之因子拙見以為不外兩端：

1. 粒徑限度——在某種流型(Flow Pattern)下，可能挾運之泥沙，其粒徑有一最大限度，凡泥沙粒徑之超過此限度者即不能攜挾。粒徑限度隨流型而易，在坡峻流急之處，其值為大，在坡平流滯之處，其值為小。水流自甲地至乙地，如因流型變化，粒徑限度由高降低，則可能發生淤積；反之，如粒徑限度由低增高，則可能發生冲刷。

2. 飽和與限一流水挾運未超過粒徑限度之泥沙，其最大挾量亦有一定限度，過此限度，泥沙之

粒徑雖小，亦不能承納，今名此限度為飽和限度，其數值亦隨流型而異。水流自甲地至乙地，如因流型變化，飽和限度由低增高，則可能發生冲刷；反之，如飽和限度由高降低，則可能發生淤積。

所須注意者，上述兩種限度乃僅就流水之最大泥沙能力言，至於真正淤積泥沙之大小及數量能否達到此種限度，尚須視泥沙來源及河床組成而定，並非河水泥沙係經常保持極限狀態，易言之；在平衡狀態中，河水所運泥沙之大小及數量可能低於上述兩種限度，但不能超過。

表(一) 各種洪水之輸沙量

洪 峯 (c. m. s.)	日 期 (d)	日平均流量 Qd (c. m. s.)	日平均含沙量 Kd (%)	日平均流沙量 Qs (ton/sec)	輸沙量 Ws (tons)
28,000	0-0.5	6,200	6.6	427	1.330×10^6
	0.5-1.5	15,500	26.6	4,960	
	1.5-2.5	24,900	32.6	10,000	
	2.5-3.5	15,500	26.6	4,960	
	3.5-4.0	6,200	6.6	427	
18,000	0-0.5	4,900	3.6	180	652×10^6
	0.5-1.5	10,500	17.4	2,050	
	1.5-2.5	16,100	27.3	5,350	
	2.5-3.5	10,500	17.4	2,050	
	3.5-4.0	4,900	3.6	180	
12,000	0-0.5	4,100	2.5	404	271×10^6
	0.5-1.5	7,500	9.8	783	
	1.5-2.5	10,900	18.3	2,250	
	2.5-3.5	7,500	9.8	783	
	3.5-4.0	4,100	2.5	104	
6,000	0-0.5	3,400	1.8	62	43×10^6
	0.5-1.5	4,500	3.0	137	
	1.5-2.5	5,600	5.2	301	
	2.5-3.5	4,500	3.0	137	
	3.5-4.0	3,400	1.8	62	

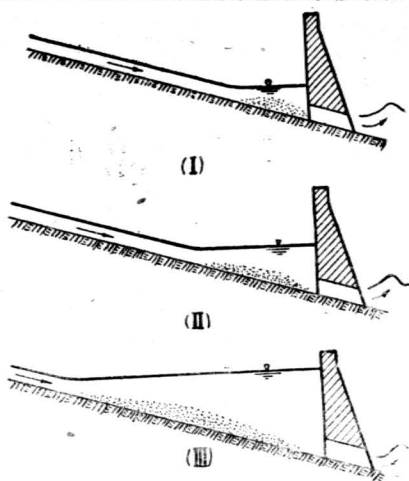
當三門峽水庫完成後，流量大於 6,000 c. m. s. 時發生攔蓄作用，壩後水位即逐漸抬高，河水在入庫以前，所運泥沙之大小及數量原未超出限度者，入庫以後，因過水斷面增大，水坡變平，流速減小，兩種限度降低，即可能超過限度，因之一部分泥沙非河水所猶克擋決，遂生沉澱。在篩洪之初，庫內水位逐漸增高，迴水線逐漸增延，淤積現象亦逐漸向上流伸展，有如圖(七)所示，迨庫內水位復自最高點下落時，迴水線隨之向下流縮短，上流河槽，原係沒於水庫中者，即逐漸露出庫外，河水復行歸槽。***由河水歸槽之結果，將使沿中央槽綫沉澱之新淤復被冲刷。

*此係就所含泥沙屬非膠結性(Non-Flocculent)者而言，非膠結性之泥沙本身具有一定之性狀，不因流型及紊動程度而變，而膠結性之泥泥則否。建庫以後，因膠結現象(Coagulation)而助長沉澱之程度如何，目前殊不易斷言。惟因膠雲(Coagulation Clouds)而生之新淤，其結構每塊點若棉，難於抗拒因速域而生之任何推移力，故即會落淤，似仍可能大半為流水挾出庫外。爰將此問題暫予保留，以俟日後之研究。

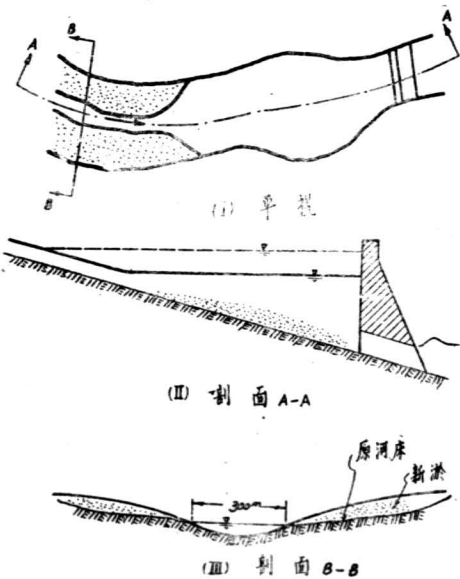
**在寬對平坦之河谷中，河水可能化為串波，不復連續，且就連是三門閘情況觀察，此時河水歸槽，始為必然趨勢。

當庫內水位繼續降低，此種沿槽線冲刷之現象亦逐漸向下流伸展。惟槽線冲刷僅限於沿谷心較窄之帶狀區域以內，而不能普遍及於整個受淹之河谷。按過去記錄獲知陝縣站在大水季中之基流約為 3,000 c. m. s.，以此一流量在灤關三門間所能維持之平均河面寬度約為 300 m. (現況如此 意即槽線冲刷，將僅限於寬 300 m. 以內之帶狀地區，如圖八) (III) 所示。在槽帶以外之新淤將不直接被沖，但如淤積物表面傾向河槽之橫坡大於其安息角 (Angle of Repose) 之正切時，則滑面以上之新淤可能滑入河槽，而為河水拋走。據中央水利實驗處試驗結果，非原狀黃土之內摩擦角自 $19^{\circ}30'$ 至 35° 不等；(2) 惟試驗中情況與河干新淤所處情況略有不同；新淤之粒配較勻，空隙率較大，微細之顆粒 (Colloids) 較少，粘性薄弱，且當庫水初落，新淤處趨飽和狀態，所含水分向槽心滲流，有牽引新淤滑動之趨勢，今假設新淤在初出水庫時之平均安息角為 10° ，或與事實相近，至確值如何，唯有求助於試驗定之耳。

在庫內水位繼續降落之時期中，上流由槽線冲刷而帶下之泥沙，是否將復淤於下流尚未洩空之水庫內，將視當時水庫排沙能力而定。迨庫水洩空，槽線冲刷即直達壩後，在 300 m. 寬度內淤積物之數量不大，且新淤抗刷力薄弱，故在低歲洪水，中水，低水之循環中，槽帶以內之河床，應能保持築庫前之原狀而不增高，帶旁地區，勢將逐年淤高，俟淤積物表面傾向河心之橫坡等於其安息角之正切時，乃達新平衡狀態。過此以後，雖在壩期中兩岸仍增新淤，但庫水洩後，新淤不能站穩，仍將流入槽心，隨水帶走。因之，就平均而言，此時水庫每年之淤積數量將與每年之冲刷數量相等，前此業經淤廢之容量，已無法恢復，但尚存之容量，自此以後，將不復逐年減退。



圖(七) 淤積之向上流伸展



圖(八) 庫內水位下降時期之槽線冲刷

綜上所述，吾人可將三門峽攔洪水庫之應用，分為三期：

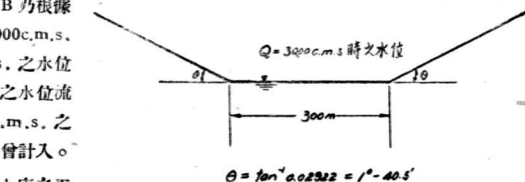
(1) 水庫開始應用時期——壩成之初，水庫開始應用，其容積猶未因淤積減退，容積與水位之關係如圖(二)曲線A所示，最大容積(水位325m.以下)為 $6.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

(2) 水庫開始淤廢時期——攔蓄28,000 c.m.s.之高水，使出庫流量不逾8,000c.m.s.，所謂水庫容積約為 $2.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ 水庫新成時，最大容量為 $6.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，頗有富裕，在最初若干年中，水庫容量雖因淤積減小，但仍足敷攔洪之用。迨最大容量，僅等於 $2.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ 時，乃為水庫之計劃防洪效能開始遭受淤積問題威脅之時，茲名之曰“水庫開始淤廢時期”；自此以後，淤積增加一分，計劃防洪效能即減低一分，此時水庫之平均斷面約如圖(九)所示，圖(二)曲線B則表示當時水庫容量與水位之關係，曲線B乃根據圖(一)，圖(九)並假定 $Q=3,000 \text{ c.m.s.}$ 之水位高於 $Q=1,000 \text{ c.m.s.}$ 之水位2 m. (此假定係根據現有次縣站之水位流量關而定)而繪成， $Q=3,000 \text{ c.m.s.}$ 之水位以下之容量，為數甚小，未曾計入。

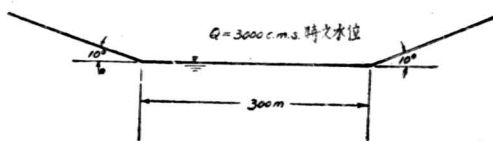
(3) 新平衡時期——此時期水庫之平均橫斷面有如圖(十)，其容量與水位之係有如圖(二)曲線C。(繪製步驟與圖(二)曲線B相類)水庫容量之業經淤廢者已無以恢復，其尚獲保存者，亦將不再因淤積而遞減。惟此時水庫之最大容量為 $1.074 \times 10^9 \text{ m}^3$ 僅及開始應用時期之1.6矣。

在現況下黃河峽谷段中洪水時期河槽每易冲刷，低水時期復顯淤積，陝縣站實測河床斷面之變化可為此說之證。在庫成之新平衡時期以後，現象一反，洪水時期淤積為無可避免，冲刷工作將悉賴中水及低水進行。

關於峽式水庫之淤冲，作數量上之分析者雖猶不多見，作現象上之論次者則頗不乏人。如安立森(S. Eliassen)雷巴德(F. Reybald)等氏，即曾對黃河壘閘孟津開建庫之淤積問題先後加以論述，或認為在洪峯過後水庫中將普遍冲刷(3)，或認為出庫之含沙量可以自由控制(4)，與前文所云水庫中直接冲刷將僅限於寬約300 m.之槽帶之說明，自頗有出入。目前輸沙理論，猶未成熟，作任何定論，皆屬冒險，對此問題，從事初步探討，筆者尤主力持審慎態度，避免過份樂觀之想像。



圖(九) 水庫開始淤廢時期之平均橫斷面



圖(十) 新平衡時期水庫之平均橫斷面

(四) 淤積數量之分析

前節中對水庫淤冲現象已予說明，茲復進而試作數量分析。分析方法，以粒徑長度及飽和限度二者作基本出發點，而以前節中所述水庫之三時期作對象。

苟對黃土水流之粒徑及飽和限度吾人已具確切知識，則從事本問題之研究當較為容易，惜事實殊不如此。關於粒徑長度前人曾作若干研究工作，其著者如克勒(H. Kvey. (5))，蕭克西里(A.

中央水利實驗處曾於本年五月擬就“黃土水流極限含沙試驗計畫”，送呈水利部核可，一俟經費有着，當可舉辦，該計畫擬於長30m，寬1.25m.之活動水槽中研計兩種含沙限度與水型之關係。

Schoklitsch) (6) 及愛因斯坦 (H. A. Einstein) (7) 等，皆曾就其試驗研究結果，推定公式，筆者曾分別試行引用於黃河，俱嫌不甚切合。日人研究於阿克托下流之清水河築庫時，曾假定凡泥沙顆粒流速大於平均流速1.3者，沉澱庫內，小於此數者不 (8)，此種假設亦無何根據。

近人之研究懸移質者，每用 ω/\sqrt{ghs} 之比值作分析之介數，式中 ω 為泥沙顆粒在水中之沉速， g 為重力加速度， h 為平均水深， S 為能坡。來因 (E. W. Lane) 及卡林斯基 (A. A. Kalinske) 分析米蘇里 (Missouri) 及密西西比 (Mississippi) 河等地之實測記錄，發覺 $\omega/\sqrt{ghs} = 1$ 可視為懸移質之上限 (9)，(10) 意即凡 ω/\sqrt{ghs} 大於 1 者，泥沙即不能浮游。同時日人速水頭一郎 (英文名為 S. Hayami) 根據渠於長江，黃河研究結果，認為 $\omega/\sqrt{ghs} = 0.3$ 可視為懸移質之上限 (11)，(12) 實則推移質懸移質並無一定不移之確切分野，要須於實際應用時作合理之區別耳。

圖 (十三) 為中央水利實驗處之分析結果，就該圖中可知陝縣懸移質中約 90% 皆小於 2 mm，在 20°C 時 2mm 之泥沙之沉速 ω 為 3cm/sec，圖 (十三) 之記錄未註明當時之水流情況，若假定可代表陝縣之平均水流情況中之現象，則當時 ω/\sqrt{ghs} 之值可視為 12.14 cm ccc，* 意即在本問題之研討中懸移質之上限可暫定為

$$\omega/\sqrt{ghs} = 3/12.140 = 25$$

復以黃河之推移質所佔數量極少，懸移質之上限即可認為俗整個挾沙之上限，凡 ω/\sqrt{ghs} 之大於 0.25 者遂認為將沉澱庫內。

關於飽和限度，中外更乏研究成果，尤其關於流水中所含粒徑為 d_1 之泥沙數量之增減是否及如何影響粒徑 $d_2, d_3 \dots$ 之泥沙之飽和程度，目前蓋無清晰之認識。從事此項試驗，乃十分繁複之事，為未來研究泥沙問題中極重要而費時之工作。為進行根本之初步研討計，筆者爰就現有實際記錄加以分析，製成表 (二) 及圖 (十一)，其中黃河之資料或採自統計表，或採自曲線圖，或藉大斷面及水位流量關係曲線計算而得，雖非十分精確，* 應能表示大致趨勢，圖中用雷氏數 (Reynold's Number) 作介數 (parameter)，亦因基於記錄本身之貧乏性質使然，雷氏數固非真能表示水流之平均內在紊動程度 (Turbulence Degree) 及挾沙能力者。圖 (十一) 中之曲線即飽和程度曲線，實際點子均應落於該曲線內或其右下方。圖中並包納范諾立 (V. A. Vanoni) 之試驗測點一，(13) 該試驗所用泥沙之有效粒徑較陝縣懸移質為粗，故似應落於飽和線下。目前記錄之數量及精度不够，圖 (十一) 僅能作初步研討之用，將來研究工作進展，可能另加校正或另換介數。

粒徑及飽和限度既分別有所依循，後文中即按此估計水庫淤積數量，兩種限度在理論上固應屬彼此關聯者，但在現有研究階段中，其關係如何，猶未能判定，故目前僅能分別計算，而於兩種分析結果中，採出庫含沙量限度之較低者用之。關於水庫淤積階段，前文中已分為三時期，其中第三時期每年沖淤平衡，已勿庸計算，茲就第一、二兩時期之情況分析如後：

在第一時期中，水庫在各種水位下之最大過水斷面皆位於壩上流 8.5 km 之處，因該處水坡最平，流速最緩，粒徑及飽和限度最低，吾人可設想該處為一把最細之篩子，凡泥沙經過該處猶不充源者即可洩出水庫。迨第二時期，水庫之特殊放寬段，大致已漸漸窄，即水庫壩處之橫斷面已略趨

* 陝縣之水流能坡可假定為 1/2,000，平均水深變化自 1m. 至 6.5 m，即 \sqrt{ghs} 之變化為 7cm/sec 至 17.84 cm./sec.。茲假定 $h=3m$ ，得 $\sqrt{ghs}=12.14cm/sec$ 。

表 (二) 含沙量與雷氏數之關係

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
年一月一日	含沙量 (%)	水位 m.	流速 m./sec.	水深 m.	雷氏數 Re (10 ⁶)	備 註
1936-1-14	1.19	289.04	2.06	0.74	1,525	1936及1937兩年係根據陝縣之統計表及曲線圖。
5-31	1.77	290.67	2.57	2.12	5,460	
6-6	1.62	290.07	2.35	1.47	3,555	1939年係根據陝縣之曲線圖。
6-26	1.56	289.14	2.15	0.44	0,947	
7-5	4.97	291.03	2.13	1.48	3,155	1940及1942年係用陝縣之大斷面計算水深用中央水利實驗處之水位流量關係曲線所得流量計算流速
8-13	4.62	291.78	2.60	2.56	6,660	
9-6	17.14	292.51	2.58	3.81	9,830	
1937-1-21	0.80	289.77	2.22	1.53	3,396	
2-3	0.96	289.81	2.18	1.49	3,250	
2-17	1.29	290.06	2.28	1.60	3,650	
4-22	1.17	289.87	2.39	1.43	3,420	
6-4	2.33	290.28	2.58	2.28	5.88	
6-19	5.30	291.17	2.75	3.09	8.50	
6-23	13.33	291.91	2.84	3.81	10.81	
6-27	12.60	291.74	2.80	3.62	10.13	
6-28	11.33	292.70	2.84	4.58	13.01	
6-29	11.30	293.53	2.84	5.36	15.21	
6-30	11.97	292.77	2.71	4.63	12.56	
8-2	16.13	293.75	3.00	6.01	18.01	
8-3	16.00	294.02	2.83	6.32	17.89	
1937-8-8	12.97	294.34	2.80	4.68	13.11	
8-10	9.07	295.82	3.00	6.12	18.34	
8-22	12.93	294.40	3.00	5.85	17.55	
9-2	8.30	294.22	3.08	5.78	17.82	
9-9	16.73	295.00	3.20	6.30	20.16	
10-3	6.00	292.35	2.82	3.75	10.58	
11-11	2.70	291.31	2.68	2.61	6.99	
11-27	1.60	290.24	1.95	1.99	3.88	
12-5	1.27	290.14	2.30	1.84	4.24	
12-8	1.30	290.05	2.16	1.65	3.56	
1939-7-13	9.10	—	2.30	3.00	6.90	
7-24	11.80	294.60	2.70	5.95	16.07	
7-27	8.80	293.00	2.67	4.20	11.22	
7-28	12.07	292.95	2.65	4.06	10.76	
1940-8-1	29.0	294.25	3.30	2.70	8.89	
8-11	26.0	295.90	4.12	3.92	16.15	
1942-7-28	23.5	295.15	3.18	3.37	10.71	
8-4	46.14	299.35	3.92	5.23	20.50	
8-26	22.0	293.98	3.36	3.18	10.68	
	3.36		1.17	0.145	0.17	本表最末所列記錄係先諸立之試驗結果，參看正文說明。

表 (三) 庫內平均含沙量

洪 峯 (c. m. s.)	出庫流量為 8,000 c. m. s. 之時期洩洪總量 (m. ³)	洪水期中(流量大於 3,000 c. m. s.)入庫輸沙總量 (ton)	庫內平均 含沙量 (%)
28,000	6.420×10^6	1.330×10^5	18.4
18,000	3.425×10^5	652×10^3	17.0
12,000	1.557×10^5	271×10^5	15.7

表(四) 水庫開始應用時

時 期 D (days)	流 量 Q (c.m.s.)	水 位 G, H, (m)	最大断面 A (m. ²)	水面寬 B (m)	平均水深 h (m.)	流 速 V (m/sec.)	能 坡* S
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
I. 洪 峯 一							
0.825	8,000	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6
1.5	,,	303.8	23,700	2,750	8.62	0.34	0.000,001,9
2.0	,,	309.2	38,300	3,800	10.08	0.21	0.000,000,586
3.6	,,	316.9	68,300	4,200	17.90	0.12	0.000,000,008,9
7.3	,,	309.2	38,300	3,800	10.08	0.21	0.000,000,589
10.1	,,	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6
II. 洪 峯 一							
1.20	8,000	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6
2.40	,,	305.0	29,600	2,980	9.93	0.27	0.000,000,992
3.33	,,	308.1	35,300	3,590	9.83	0.23	0.000,000,725
4.85	,,	305.0	29,600	2,980	9.93	0.27	0.000,000,992
6.15	,,	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6
III. 洪 峯 一							
1.75	8,000	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6
2.88	,,	300.0	13,400	1,990	6.73	0.60	0.000,008,20
4.00	,,	295.4	7,300	1,370	5.32	1.10	0.000,037,6

表(五) 水庫開始淤廢時

時 期 D (days)	流 量 Q (c.m.s.)	水 位 G, H, (m)	最大断面 A (m. ²)	水 寬 面 B (m)	平均水深 h (m.)	流 速 V (m/sec)	能 坡* S
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
I. 洪 峯 一							
0.775	8,000	295.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11
2.0	,,	315.5	39,000	2,280	17.10	0.21	0.000,000,002,53
3.6	,,	324.5	60,900	2,900	21.00	0.13	0.000,000,000,53
4.0	,,	324.1	60,000	2,870	20.90	0.13	0.000,000,000,55
7.0	,,	315.8	39,800	2,280	17.46	0.20	0.000,000,022
10.09	,,	295.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11
II. 洪 峯 一							
1.125	8,000	295.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11
2.0	,,	303.9	23,000	1,770	13.00	0.35	0.000,000,016,1
3.33	,,	313.6	34,400	2,150	16.00	0.23	0.000,000,003,37
4.0	,,	312.2	31,600	2,060	15.35	0.25	0.000,000,005,02
6.125	,,	395.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11
III. 洪 峯 一							
1.675	8,000	295.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11
2.0	,,	297.9	9,100	1080	8.34	0.71	0.000,000,248
2.88	,,	301.2	12,800	1310	9.77	0.63	0.000,000,127,5
3.875	,,	295.4	6,600	909	7.26	1.21	0.000,001,11

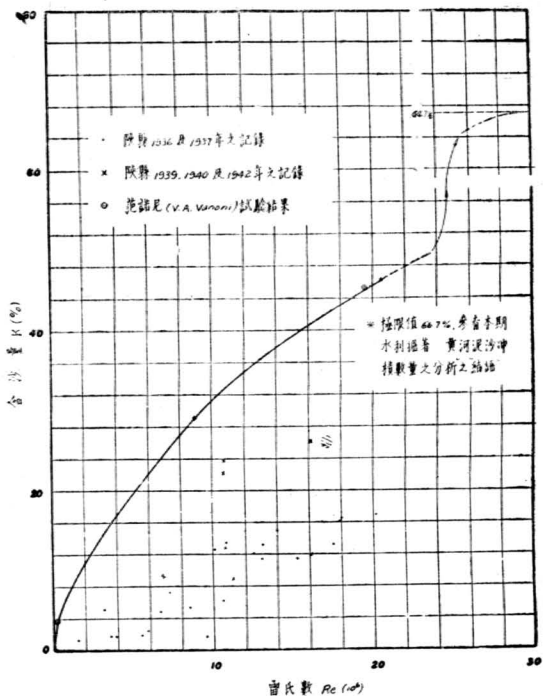
* 假定糙率係數 $n = 0.017$

期 出 庫 含 沙 量 之 計 算

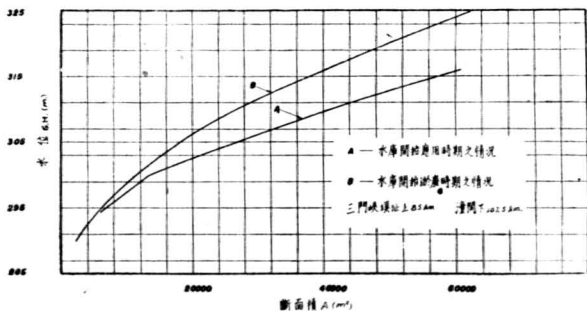
$\sqrt{ghs} \times 100$ (cm./sec.) (9)	最大泥沙沉速 $\frac{W_{max}}{0.25\sqrt{ghs} \times 100}$ (cm./sec) (10)	懸移質 最大粒徑 (mm) (11)	沉速小於 W_{max} 之泥 沙佔懸移 質之百分 數 (%) (12)	庫內平均 含沙量 (%) (13)	出庫含沙量 A (%) (14)	雷氏數 Re (10 ⁶) (15)	出庫含沙量 B (%) (16)
28,000 c.m.s.							
4.430	1.08	0.12	85	18.40	15.65	5.85	21.8
1.268	0.317	0.059	69	„	12.20	2.93	13.5
0.763	0.191	0.046	56	„	10.30	2.12	11.2
0.3955	0.0988	0.0335	38	„	7.00	2.15	11.2
0.763	0.191	0.046	56	„	10.30	2.12	11.2
4.430	1.08	0.12	85	„	15.65	5.85	21.8
18,000 c. m. s.							
4.430	1.08	0.12	85	17.0	14.45	5.85	21.8
0.984	0.246	0.052	62	„	10.53	2.52	12.4
0.836	0.209	0.0485	59	„	10.03	2.26	11.5
0.984	0.246	0.052	62	„	10.53	2.52	12.4
4.430	1.08	0.12	85	„	14.45	5.85	21.8
12,000 c. m. s.							
4.430	1.08	0.12	85	15.7	13.35	5.85	21.8
2.324	0.582	0.083	81	„	12.71	4.04	16.8
4.430	1.08	0.12	85	„	13.35	5.85	21.8

期 出 庫 含 沙 量 之 計 算

$\sqrt{ghs} \times 100$ (cm./sec) (9)	最大泥沙沉速 $\frac{W_{max}}{0.25\sqrt{ghs} \times 100}$ (cm./sec) (10)	懸移質最 大粒徑 (m. m.) (11)	沉速小於 W_{max} 之泥 沙佔懸移 質之百分 數 (%) (12)	庫內平均 含沙量 (%) (13)	出庫含沙量 A (%) (14)	雷氏數 Re (10 ⁶) (15)	出庫含沙量 B (%) (16)
28,000 c. m. s.							
0.89	0.222	0.50	61	18.4	11.2	8.78	28.6
0.0651	0.00163	0.0137	15	„	2.8	3.57	15.6
0.0331	0.00827	0.0098	13	„	2.4	2.73	13.0
0.0336	0.0084	0.0092	13	„	2.4	2.72	13.0
0.0613	0.0153	0.0132	15	„	2.8	3.50	15.5
0.89	0.222	0.050	61	„	11.2	8.78	28.6
18,000 c. m. s.							
0.89	0.222	0.050	61	17.0	10.4	8.78	28.6
0.1432	0.0358	0.020	20	„	3.4	4.55	18.2
0.0765	0.0191	0.0148	16	„	2.7	3.68	15.8
0.0869	0.0217	0.0158	16	„	2.7	3.84	16.2
0.89	0.222	0.050	61	„	10.4	8.78	28.6
12,000 c. m. s.							
0.89	0.222	0.050	61	15.7	9.6	8.78	28.6
0.45	0.1125	0.0355	38	„	6.0	5.92	21.9
0.35	0.0875	0.0315	32	„	5.0	6.15	22.5
0.89	0.222	0.050	61	„	9.6	8.78	28.6

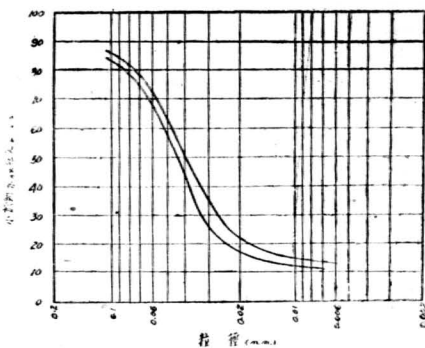


圖(十一) 含沙量飽和限度



圖(十二) 各種水深下庫內最大斷面 面積曲線圖

劃一。雖某一特殊位置之沖淤情形如何，未可得而預言，但其平均橫斷面約如圖（九）所示。用平均橫斷面作計算各種水位下過水斷面積之標準，則愈近壩址之過水斷面積愈大。惟因壩址上流附近河床甚為窄狹，故仍假壩址上流 8.5km. 為過水斷面最大及流速最小之處（圖（十二））。



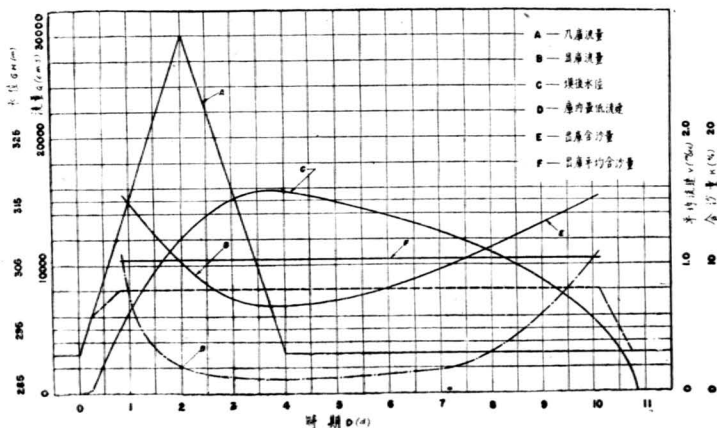
(中央水利實驗處分析結果)

圖(十三) 灰縣黃河懸移質之粒配度

由前項假定復根據圖(二)

之 A, B 兩曲線製成表(四)及表(五)，復就兩表分別繪就圖(十四)及圖(十五)之(I)、(II)、(III)各幅。表中各行數字及圖中諸曲線之意義及由來多屬自明而無待闡釋。僅表(四)及(五)中之第(12)、(13)及(14)等行須略加說明如次：

在攔洪水庫中，不易有異重流(Density Current)發生。洪水入庫後，發生混合作用，含沙量即難保持原值，致各時期中水庫各斷面之含沙量如何，無法確定。茲假定洪水中入庫之泥沙總量

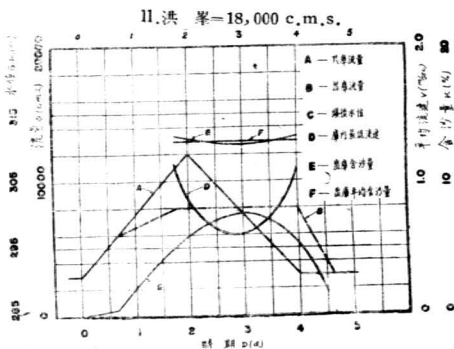
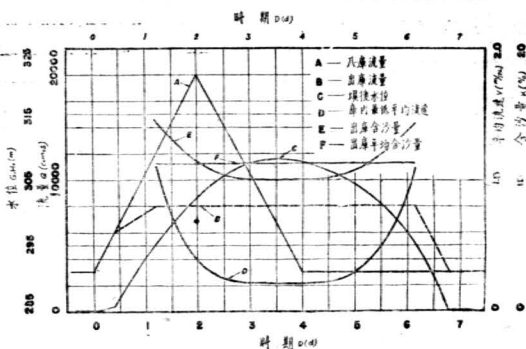


I. 洪峯=28,000c.m.s.

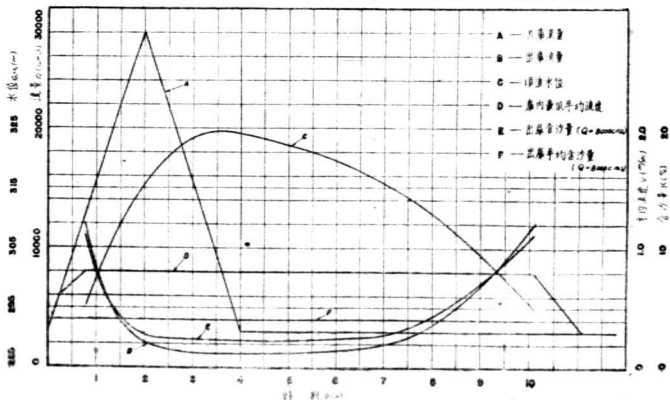
圖(十四) 水庫開始應用時期節洪情況

* 書眉目之見解與此略有出入，請參閱雷君論文(14)

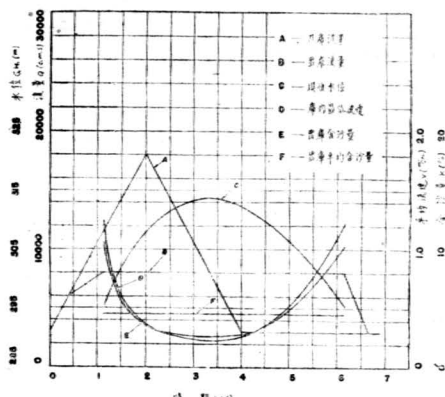
平均分佈於出庫流量等於8,000 c.m.s.之時期內之總水量中,而得庫內平均含沙量,如表(三)所示。意即苟水庫內不生淤積,則洪水時期入庫之泥沙總量將悉由出庫流量等於8,000 c.m.s.之時期內平均帶出水庫。事實上淤積乃不可避免,出庫之含沙量恆較表(三)所示之平均含沙量為低。用粒徑限度計算出庫含沙量,須先明入庫泥沙之粒配度,河水一漲一落,所挾泥沙之粒配度原難固定不變,惟現以資料缺乏,姑假定中央水利實驗處所作兩種淤懸移質顆粒分所能代表一般情況[圖(十三)]。(四)、(五)兩表中第(12)行之數字乃係以第(11)行之數字納入圖(十三)查出,復以第(12)行之數字乘入庫平均含沙量即得第(14)行之數字。故第(14)行之“出庫含沙量A”係就粒徑限度分析結果,而第(16)行之“出庫含沙量B”乃就飽和限變分析結果[用第(15)行之數字納入



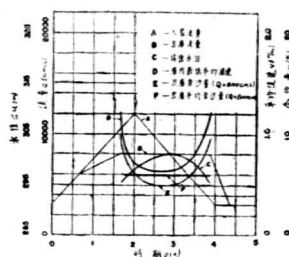
圖(14) 水庫開始應用時期節洪情況



圖(15) 水庫開始淤底時期之節洪情況



(II) 洪峯=18 000 c.m.s.



(III) 洪峯=12,000 c.m.s.

圖(十五)水庫開始淤廢時期之節洪情況

表(六) 出庫輸沙量

時期	洪峯 (c.m.s.)	流量=8,000c.m.s. 之時期中之出席總水量 (m ³)	平均含量 (%)	出庫輸沙量 (ton)
水庫開始應用時期	28,000	6,420 × 10 ⁶	10.28	706 × 10 ⁶
	18,000	3,425 × 10 ⁶	11.20	413 × 10 ⁶
	12,000	1,557 × 10 ⁶	12.95	220 × 10 ⁶
水庫開始淤廢時期	28,000	6,440 × 10 ⁶	4.04	267 × 10 ⁶
	18,000	3,470 × 10 ⁶	4.50	160 × 10 ⁶
	12,000	1,520 × 10 ⁶	5.92	93 × 10 ⁶

表(七) 水庫淤積數量

時期 (c.m.s.)	洪峯 (ton)	入庫沙量 (ton)	出庫沙量 (ton)	淤積數量 (ton)	平均淤積數量 (ton)	百年中發生次數	平均每年淤積數量 (ton)
水庫開始應用時期	28,000	—	—	—	624 × 10 ⁶	1	6.24 × 10 ⁶
	28,000	1 330 × 10 ⁶	706 × 10 ⁶	624 × 10 ⁶	432 × 10 ⁶	4	17.28 × 10 ⁶
	18,000	652 × 10 ⁶	413 × 10 ⁶	239 × 10 ⁶	145 × 10 ⁶	15	21.75 × 10 ⁶
	12,000	271 × 10 ⁶	220 × 10 ⁶	51 × 10 ⁶	26 × 10 ⁶	50	13.00 × 10 ⁶
	6,000	—	—	○	—	—	—
共計							58.27 × 10 ⁶
水庫開始淤廢時期	28,000	—	—	—	—	1	10.63 × 10 ⁶
	28,000	1 330 × 10 ⁶	267 × 10 ⁶	1,063 × 10 ⁶	1,063 × 10 ⁶	4	31.12 × 10 ⁶
	18,000	652 × 10 ⁶	160 × 10 ⁶	492 × 10 ⁶	778 × 10 ⁶	15	50.25 × 10 ⁶
	12,000	271 × 10 ⁶	93 × 10 ⁶	178 × 10 ⁶	335 × 10 ⁶	50	44.50 × 10 ⁶
	6,000	—	—	○	89 × 10 ⁶	—	—
共計							136.50 × 10 ⁶

圖(十一)中查出，因第(16)行之數字成較同列之第(14)行數字為大，乃決定採用“出庫含沙量A”作估算標準，而以之輸入圖(十四)及(十五)之各幅中。

自圖(十四)及(十五)即可計算各種洪水下出庫流量為8,000c.m.s.時之出庫輸沙量〔表(六)〕,復由表(三)及表(六)配合計算而得平均每年庫內淤積數量〔表(七)〕。

自表(七)可知在水庫開始應用時期平均每年淤積於庫內之泥沙為 58.27×10^6 tons,在水庫開始淤廢時期平均每年淤積於庫內之泥沙為 136.50×10^6 tons,二者平均為 97.385×10^6 tons,假定淤積物乾容重為 1.2 tcns/m^3 ,則二者平均為 $81.1 \times 10^6 \text{ m}^3$,亦即自水庫開始應用時期迄水庫開始淤廢時期需時約

$$(6.0-2.9) \times 10^3 / 81.1 \times 10^6 = 38 \text{年}$$

水庫洩空後,由於槽線之繼續冲刷可能尚有一小部分新淤出庫,以其數量不大,未予計入。

表(七)所列水庫開始淤廢時期每年淤積數量反較水庫開始應用時期為大,乍視之似不合理。實則乃因在庫成之初,其容量勿須盡用,僅28,000 c.m.s.之高洪,壩後最高水位僅達316.9m,而在水庫開始淤廢時期,遇同樣洪水,水位將達324.5m,水深愈大,能坡愈平,其結果令 \sqrt{ghs} 值降低,能載運之沙粒遂愈小。***

自水庫開始淤廢時期起,為保持壩後水位不超過325m,起見,如遇高洪,出庫流量即不復能限制小於8,000c.m.s.自此以後,每年庫內淤積數量將逐漸減少,迨至新平衡時期,平均每年淤積與冲刷數量互相抵銷,即淤積之淨值為零。因之自水庫開始淤廢時期起,至新平衡時期止,平均每年之淤積數量為

$$(136.50 \div 0) \times 10^6 / 2 = 68.25 \times 10^6 \text{ tons,} \\ = 56.8 \times 10^6 \text{ m}^3$$

亦即此一階段共需時

$$(2.9-1.07) \times 10^3 / 56.8 \times 10^6 = 32 \text{年}$$

故自水庫開始應用起至新平衡初臨之時止共需時

$$38+32=60 \text{年}$$

本 文 重 要 參 考 書

1. Y. I. Yeh: "Hydrology of the Yellow River", Studies on Yellow River Project, Publication No. 4, (under publication)
2. C. H. Tai and W. H. Chu: "Mineral and Chemical Constituents and Physical and Engineering Properties of Loess", Studies on Yellow River Project, Publication No. 3 (under publication)
3. O. J. Todd and Eliassen: "The Yellow River Problem", Trans. A. S. C. E., Vol. 105, 1940
4. E. Reybold, J. P. Growdon, J. L. Savage: "Preliminary Report on Yellow River Project", Studies on Yellow River Project Publication No. 1. (under Publication)
5. F. Eisner: "Offene Gerinne Zahigkeit", Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, Tl. 4, 1932.

*根據吳以讓君實測數字,荊峪溝之乾溝防冲土壩壩後淤積物之表面業已裂縫及業已耕種者,其乾容重為 $1.205-1.235 \text{ tons/m}^3$

**計算壩坡時假定糙率係數 $n=0.017$,而不隨水深變更,亦產生幾許誤差。

6. A. Schoklitsch: "Hydraulic Structures" Vol. I, 1930.
7. H. A. Einstein: "Formulas for the Transportation of bed Load", Trans. A. S. C. E., Vol. 107, 1942
8. 日本東亞研究所: "第二調查(黃河)委員會綜合報告"1944
9. E. W. Lane and A. A. Kalinske: "The Relation of Suspended to Bed Material in Rivers", Trans. Am. Geoph. Un., 1939.
10. A. A. Kalinske: "Turbulence and the Transport of Sand and silt by wind", Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. XLIV, Art. I, 1943.
11. 速水頌一郎: "長江與黃河之性格及其研究方法"(演講稿, 未印)
12. S. Hayami: "Hydrological Studies on the Yangtze River China", Part II, IV and V, J. Shanghai Sc. Inst., Sect. I. Vol I
13. V. A. Vanoni: "Transportation of Suspended Sediment by Water", Trans. A. S. C. E., Vol. III, 1946.
14. K. Lei: "A Study of a Method for Computing Sediment Deposits in Retarding Basins", Thesis for degree of M. S., Iowa Univ., 1946

日人對於黃河泥沙及築庫淤積之見解

劉 方 燁⁽¹⁾

日人在中日戰爭時期，為謀攫取華北資源，積極準備開發黃河水力，以求獲得大量電源，故對於黃河問題，曾設置專門機關，進行調查及研究。其工作內容，及初步結果，已由張瑞瑾先生為文介紹，載本刊十四卷六期。茲就日人對於黃河泥沙問題之見解，摘要申述如次。⁽²⁾

(一) 黃河泥沙之來源及數量

黃河流域，有四分之一為廣袤之黃土地帶，據翁文灝氏概算，黃河流域內黃土地帶之總面積，約 188,000 平方公里。故當秋夏洪水季節，因豪雨頻仍，土層被雨滴剝蝕，乃逐流直瀉，匯達幹流，形成極高之含沙記錄。尤以山、陝兩岸之山居地域，岸壁陡峻，經共流激沖，屢易崩潰，其沙量亦驟增。包頭以上，則因上游雨少人稀，蔓草叢生，故沙量極微，中游吳堡龍門段，匯納無定、三川、延水、汾河各支流所經全屬高土區域，其一次洪水之輸沙總量有可為全河之冠者。迨龍門以下有、涇、洛、渭、來匯，雖因河身放寬，流緩漸淤，但陝州全年輸沙之記錄，尚較龍門為高。此後逐流逐淤，沙量已逐見減少，祇有半數可輸洩入海。此為洪水季節之大概情形。

至冬春低水季節，則因雨量稀少，或為融雪而潛行地下，其沖蝕之能力，極為微弱故此時河中之挾沙，多屬中下游兩岸河灘淤泥之逐次轉移。與洪水季節之情形，顯然非從一轍也。

黃河每年輸出泥沙之總量，可由：(一) 洩流入海，(二) 因決堤而淤積於平原，(三) 平常淤積於河床，三方面之數量而推論之。

據估計，黃河每年輸出沙量，約自 3 億至 6 億立方公尺，平均為 4.5 億立方公尺。其中有 0.75 億立方公尺沉積於河床內，(河床上昇率每年約佔 1.5 至 3 公分)，當大洪水時，流量超過 8,000 秒立方公尺，含沙亦劇增，估計其平均年輸沙量約為 13.5 億立方公尺。此項泥沙，大部沉積於平原。當普通洪水時，則可取 4.5 及 13.5 之平均值約 9 億立方公尺。

統計自 1552 至 1852 之 300 年期間，決堤之洪水計 98 次，發生於 83 年之間，其他之 217 年，則並無決口，而 83 年間屬於大洪水者，僅 13 年，則按照上述計數字，此 300 年間之年平均輸沙量，為 5.24 億立方公尺。但據民國 23 年陝州實測記錄，已有 14.52 億立方公尺。其中有一次之大洪水，所挾帶者已達 4.73 億立方公尺。再按平漢路橋附近實測之推算，亦約為 10.5 億立方公尺。故上估之 5.24 億立方公尺，似嫌太小，若加倍計算，約 10.48 億立方公尺，則較相近矣。

(二) 黃河築庫泥沙淤積之推算

日人就清水河蓄水庫為例，推算泥沙淤積之方法如次：

(1) 中央水利實驗處研究員

(2) 原報告名稱：東亞研究所第二調查(黃河)委員會綜合報告書，東亞研究所黃河水力發電報告書

蓄水庫在低水位時之總蓄水量	10,260,000,000立方公尺
年平均輸入沙量(包頭紀錄)	210,000,000立方公尺
蓄水庫水面寬	500公尺
使用水量	800立方公尺
低水位時蓄水庫之水深	25公尺

假定水庫底水流之流速為平均流速之三分之一，則得最初未淤積前，庫底水流流速 V 。可假定為

$$V_0 = \frac{1}{3} \times \frac{800}{50 \times 25} = 0.021 \text{ 秒公尺}$$

換言之：若泥沙之顆粒，其沉降之速度小於庫底流速時，則此項泥沙仍可浮游水中，不至沉積，或即可隨水流洩至下游。檢查 Hazen 氏顆粒與沉降速度之相關數字，可知流速為0.021秒公尺之限制顆粒直徑約為0.0037公厘。再按張家口泥沙顆粒分析之結果，其顆粒直徑與所含之百分率如下次：

顆粒直徑(公厘)	少於顆粒直徑之百分率
0.0014	4%
0.0058	9%
0.0165	16%
0.0495	26%
0.1000	97%

按 Lagrange 內插法，得顆粒直徑為0.0037時之百分率為6.7%。即最初數年間，所有流沙中可有7%浮游於水中，而不至沉降，其餘93%則沉積於庫內。

假定最初之十年間，其沉積情形如是，則所沉積之總量為19億立方公尺，(210,000,000,000 × 0.9 × 10)。同時因沉積而減少水庫之水深，可推算為

$$h = \frac{1950}{10260-1950} \times 25 = 5.9 \text{ 公尺。}$$

第二次推求時，其水深即由25公尺改為19.1公尺，則其庫底流速加大，該流速之限制顆粒直徑亦加大，能浮游之成分當隨之增高，沉積率因之遞減。如此劃分年份，逐次推算，可得總結如下表：

築庫後年數	間隔年數(年)	浮游率(%)	泥沙淤積量(10 ⁵ m ³)	累計淤積量(10 ⁵ m ³)	淤積深(m)	累計淤積深(m)	每年泥沙淤積量(10 ⁵ m ³ 年)	每年淤積深(m/年)
1—10	10	6.7	1,960	1,960	5.90	5.90	196	0.59
11—20	10	7.4	1,940	3,900	5.80	11.70	194	0.58
21—30	10	15.7	1,770	5,670	5.10	16.80	177	0.51
31—35	5	17.4	870	6,540	1.90	18.70	174	0.38
36—40	5	18.2	860	7,400	1.90	20.60	172	0.38
41—45	5	19.3	850	8,250	1.90	22.50	170	0.38
46—48	3	22.1	490	8,740	0.81	23.31	163	0.24
49	1	28.1	150	8,890	0.19	23.50	150	0.19
50	1	31.3	140	9,030	0.17	23.67	140	0.17
51	1	36.0	130	9,160	0.16	23.83	130	0.16
52	1	42.3	120	9,280	0.14	23.97	120	0.14
53	1	47.0	110	9,390	0.13	24.10	110	0.13
54	1	58.5	87	9,680	0.10	24.20	87	0.10
55	1	71.7	62	9,540	0.07	24.27	62	0.07
56	1	83.9	31	9,570	0.04	24.31	31	0.04
57	1	92.5	16	9,590	0.02	24.32	16	0.02

水庫內泥沙之淤積

蔣彭年⁽¹⁾節譯

(一) 引言

水庫內泥沙之淤積，對於庫壩之設計，極為重要。通常設計時，壩之高度全視所需蓄水量及泥沙淤積量而定。苟設計時，對於水庫內泥沙之淤積情形，未能預估，則將來計劃完成後，泥沙淤積過多，所蓄水量不足，因此灌溉田畝荒蕪，或水庫容積減小，不能容納洪水，致釀成巨災，或於水電工程中，因庫內水量不均，不足產生河川之最大主電力。故水庫內泥沙之淤積，實為水利工程上一大嚴重問題也。印人 A. N. Khosla 氏有見於斯，爰將此項問題，蒐集各國有價值之資料，作有系統之分析與研討。原文(2)廣集有關各國水庫內泥沙淤積之各項資料，並述及影響水庫內泥沙淤積之主要因素為河川之流域面積，故淤積速率應以單位流域面積（以平方公里計）內每年若干立方公尺計之。參攷所集資料，以定水庫內泥沙淤積速率，次求在最短時期內泥沙淤積後所佔水庫之容積，俾便庫壩之設計，此為原文之主旨也。至於河川內泥沙之挾運，水庫內泥流之淤積之情況，及如何設法減低河川挾沙量及水庫內泥沙之淤積量等問題，並未詳論。本文旨在介紹 A. N. Khosla 氏對於水庫內泥沙淤積研究之寶貴貢獻，並估算陝西洛惠壩內泥沙淤積速率等資料，藉供參攷。

(二) 泥沙之來源及其與河川流域面積及流量之關係

泥沙之來源

泥沙為岩石分解後隨河川水流之生成物。岩石分解之主因不外溫度、風雨及化學等作用。查泥沙之來源有二：一由岩石經風化作用分解後，由雨水冲刷地面，逕流挾運泥沙入河；二由河水冲刷河床及沙石間之磨損作用，以增河川之泥沙。至於河川內泥沙之多寡，視其流域內情況而定，茲申述如下：

一、岩石之性質及化學成分 河川流域內岩石之性質及化學成分，對於所含泥沙之多寡，頗有影響。火成岩既硬且密，具有晶體之結構，故難於風化。老水成岩組織緊密，對風化抗力尚強。幼水成岩及新沖積土易於風化。大凡火成岩及前石炭紀岩地區之河川，水流清澈。但新近沈積及充滿沖積土之山谷內之河川，泥沙豐富。岩石中含有大量矽酸鹽，風化後變成粘土，含有薄片細粒，易於磨耗及為流水挾運。

二、植物及氣候 植物及氣候之變化為岩石風化及泥沙易於水中挾運之另一因素，蓋植物根羣之破壞作用及有機質之化學作用所致也。乾旱地區，風化特易，沛雨驟降，逕流分散數道，挾運多量之泥沙，匯注入河。

(1) 中央水利實驗處研究員

本文承譯葉泰先生校閱及張瑞堯先生供給資料謹此謝

(2) "Siltng of Reservoirs" By A. N. Khosla: Superintending Engineer Punjab Irrigation Board, India.

三、降雨 若降雨集中而強度大，則加激地面沖蝕，河川泥沙亦增。反之，若降雨分散而強度弱，則風化及沖蝕等作用及河川含沙量，必形減小。河水之來源為雪水，並不能加多其含沙量。

四、地勢 流域內地勢陡峻者，易使土壤分離，致河川含沙增多；平坦者則反是。

淤積速率與流域面積之關係

以上所述各項乃水庫內泥沙淤積程度不同之一般因素。苟欲測定水庫內泥沙淤積速率或其壽命則必考慮其因素，如流域面積，年逕流量，水庫蓄水量，與河川挾沙量有關之蓄水時期，沖刷閘（Sluice）及出水道（Outlets）之位置及水庫放水之方法與目的等。此等因素內，以流域面積最為重要。流域內泥沙性質變化之範圍甚廣。如美國 Columbia 河 Grand Coulee 壩以上流域面積為 192,000 平方公里，平均年逕流為 98,700 百萬立方公尺，根據記載，實際並無泥沙。埃及 Nile 河 Aswan 壩以上，每年輸送泥沙約 90.7 百萬公噸，但此水庫內亦無泥沙淤積，蓋因壩底裝有巨大洩水量之沖刷閘，且蓄水量僅為平均年逕流之 6.67% 也。此兩流域係無泥沙淤積之極端情形。至於水庫內泥沙淤積之速率，均以每平方公里流域面積內每年若干立方公尺計之，見第一表，然流域內地質，地形，植物及降雨等因素，均未顧及。較大流域內，雖岩石之組成不同，但此等因素似相互調節，促成相同之泥沙淤積速率（以每平方公里流域面積內每年若干立方公尺計）。然若干水庫內泥沙之淤積速率，有與此出入過大者，或因該流域為特殊外力所變更，如谷坊之營建，大規模植林種草或地面草皮露為牛羊吃除。

Rio Grande 河 Elephants Butte 水庫以上流域面積為 68,200 平方公里，Salt 河 Roosevelt 水庫以上為 14,900 平方公里，而泥沙淤積速率每平方公里每年各為 325 及 360 立方公尺。兩水庫之蓄水量均較年逕流為大，故泥沙全部沉積於水庫內，僅極小部份自出水道流出。此兩另一極端情形係水庫內泥沙淤積之上限值。其他水庫之淤積速率，較此為小，除若干例外。

泥沙之種類

河川挾運泥沙之種類有二：曰浮游泥沙及河床泥沙。浮游泥沙係根據標準測驗方法而得。通常水深十分之六處採取水樣，即可得該深度之平均含沙量；並於河道斷面上分自斷面中心及距河邊六分之一河寬處分測三點，此三者之平均值，即為該橫斷面上之平均含沙量。

埃及 Nile 河 Halfa, Dakka, Aswan 及 Gaafra 四地，曾按上法舉行測驗，求得下列結論：浮游泥沙中粘土及粉沙(Silt)之顆粒在河川深度上之分佈，至屬均勻，沙土顆粒之分佈則有變化。又水深一半之平均含沙量與河川斷面上平均含量之比為常數，其值等於 0.984，平均偏差 0.026。

河床泥沙乃受河川水流作用，滾移於河床之泥沙也。其與浮游泥沙成份之比，尚乏定論。但河床泥沙，大部均較少耳。

縱斷面上泥沙分佈與流速亦無一定關係。

含沙量與流量之關係

乾旱時季，風化加劇，若降雨初落，逕流挾運風化土壤，匯注入河。河川泥沙，大部因此而生。此後，地面必經雨水之沖蝕，始能挾運泥沙入河。雖流域內或有局部劇烈沖蝕地區，但按全流域而言，或僅一小部分。故後者生成之泥沙，其量尚少。若河川水流之來源為降雨，則最大浮游泥沙之發生常較最大洪水峯為早，其理在此。

洪水初發數月內，流量漸增，其所含泥沙，較諸此後數月內，流量漸減時所含者為多，雖河川之流量相同。

Faris 氏亦有同一見解，即最大含沙量（以重量計）之發生常較最大流量為早。含沙量達最大後，流量仍繼續增加，而含沙量反形低減，蓋因流量增加後沖淡作用使然也。但流量達最大，而漸趨減少時，則含沙量常再增加。(1)

埃及 Nile 河 Halfa 及印度 Sutlej 河 Bhakra 之含沙量與流量曲線，具有同一之性質。蓋兩河河水之來源均為雨季時之降雨也。

Edgecombe 氏則謂含沙量與流量無一定之關係，例如 Colorado 河在五、六、七、三個月內，河水來源為雪水，流量常達最大，但含沙量不隨流量而增加，反因其沖淡，或稍減少，蓋雪水僅能將洪水所佔之河道內泥沙沖刷。但八、九、十、三個月內，時有暴雨，將整個流域面積內風化土壤沖蝕，挾運入河，因此，含沙量隨流量之增加而增加。

淤積泥沙之乾容重

擬建水庫內泥沙淤積之速率可以下列兩法約估之：其一即採取河川水樣，測定其含沙量（以重量計），然後化為泥沙淤積量若干立方公尺；其二乃與類似之已建水庫比擬，而此水庫曾舉行泥沙淤積量之長期測量。

欲知水庫之壽命，吾人對於淤積泥沙之體積較其重量更為著重。第二法雖較為直接，但因各河川有其流緩之特性，而受限制也。水庫壽命之約估必須根據水樣之含沙量（以重量計），故水庫內泥沙重量與體積之關係，至屬重要。

美國農部對此問題，曾作有價值之實驗工作，其結果如下：自 Trinity 河 Lake Worth 壩上游取得水樣，具有膠體物之特性，極最輕者，其乾容重為每立方公尺 300 公斤。自 Medina 水庫取得者，有最重者，含有漂礫，其乾容重為每立方公尺 1,700 公斤。至於其他各水庫內取得者，其乾重介於兩者之間。

Faris 氏謂，若水庫作防洪之用，則水量僅暫時積蓄，所沉積泥沙露出水面，經長期收縮後，其乾容量為每立方公尺 1,440 公斤；一般水庫所蓄水量，天旱時放出，於是水面減低，淤積含沙暴露，則乾容重為每立方公尺 1,120 公斤，水力發電之蓄水庫，水頭經常維持一定，淤積含沙之暴露與收縮，均不可能，其乾容重為每立方公尺 480 公斤。Faris 氏建議淤積泥沙乾容重之平均值為每立方公尺 1120 公斤。

Colorado 河 Boulder 水庫內淤積泥沙乾容重為每立方公尺 1,380 公斤。

(三) 各國已建水庫內泥沙淤積之研究

各國已建水庫內泥沙淤積之各項資料，詳載於第一表。各水庫水排列係按其河川流域面積之大小。每平方公里泥沙淤積速率載於第(20)列。

本節擬將十七座已建主要水庫內泥沙之淤積問題，詳為分析與研究。此等水庫為埃及 Aswan 水庫，美國 Boulder, Grand Coulee, Lake Austin, Elephant Butte, Mc-Millan, Roosevelt, Lake Worth, Zuni, Porksville, Medina, Gibraltar, Sweet Water 諸壩及南非 Lake Arthur, Grassridge, Van Rynevelds Pass 及 Lake Mentz 四水庫。

Aswan 水庫(第一表 1)

流域概況 本流域降雨發生於雨季。通常雨季於六月十五日開始。White Nile 支流源於 Uganda 高原，此區溫度高，降雨強度大。洪水時 Atbara 及 Blue Nile 兩河自 Abyssinia 高原帶下大量泥沙。

(1) 據黃河水利委員會“黃河之水文”第 25 頁所載，黃河最大含沙量之出現，每略後於最大流量，此種現象，或因一部分清澈水流先於含沙甚多之水流傾注入河所致，或因本流域土壤，既被潤濕和軟而易於剝蝕時，再經劇烈急流，地面遭遇嚴重沖刷所致。

1902年Aswan壩第一計劃完成，蓄水量為1,065百萬立方公尺（庫內水面106.0公尺），無溢水道，但有180道沖刷閘，可洩最大洪水量14,200秒立方公尺。自1907至1912年間，壩高增加，蓄水庫增至2,440百萬立方公尺（庫內水面增至113.0公尺）。自1929至1931年，壩高增至122公尺，蓄水庫增至5,430百萬立方公尺。

Nile河之泥沙及其控制 Nile河之泥沙限制Blue及Main Nile兩河上水庫之蓄水時期。故欲免Aswan水庫之淤積，過去規定於洪水峯過後，開始蓄水，是時下游水尺讀數降至88.0公尺。嗣因Aswan壩高度增加，水庫蓄水量因此亦增，於是將蓄水開始時期提早，約於十月中旬開始，而Aswan水尺降至91.0公尺。若此壩高度再加，則蓄水開始時期，必予提早。小水年內，可於洪水峯抵達時開始蓄水。此水庫作防洪之用，似屬適當。

Aswan水庫以上之河床泥沙，其量不多，縱有若干，經沖刷閘有效宣洩，沖入下游。故Aswan壩上游河底並不增加也。

自一月至七月底Nile河之浮游泥沙極少。通常其含沙量（以重量計）僅0.01%。自七月底至八月初，其含沙量即達最大，常發生於八月底，較最大洪水量之發生為早，數日內含沙量可達0.40%。此後，含沙量即漸減，至十二月內，仍少於0.01%。

1929, 1930, 及1938三年內，經過Hufa（即達Aswan者）之泥沙約各為124,69及107百萬公噸。自1938年八月二十一日至十一月十六日間，通過泥沙107百萬公噸內，約有21百萬公噸於水庫內淤積。

Aswan水庫之蓄水量僅為年逕流之十五分之一，且沖刷開放於河床之高度，足以宣洩最大洪水流量14,200秒立方公尺。庫內淤積泥沙僅為總泥沙量之一小部份，能為河水挾攜入下游。

Nile河Aswan水庫以上浮游泥沙每100平方公里每年僅5,270公噸；Colorado河Boulder以上為51,700公噸/100平方公里；Sutlej河Bhakra水庫以上為55,100公噸/100平方公里。

Boulder水庫（第一表2）

流域概況 壩址附近岩石屬火山岩。本流域年平均雨量為254公厘，但若干區域內有少於130公厘者。河川特性在於秋冬兩季之低水及來自雪水之正常洪水。正常洪水常於四月底開始，六月內最大，八月中旬結束。南部支流，春秋冬三季內任一月中，常發暴洪。

Colorado河Boulder水庫以上流域面積內之高原區包括156,000至168,000平方公里，其逕流佔Grand Canyon處（Boulder壩上游322公里）測得者之10%弱。但其含沙量佔Grand Canyon處測得者之75%強。蓋此區鬆散結合之沙石及沙質頁岩，為泥沙來源之主因。雨量僅152至254公厘；每年內僅一次至六次暴雨。本區屬沙漠，氣候乾旱，風化特易，暴雨急暫，致細質風化土壤，易於沖蝕，渾濁泥流，到處發生，兼以植物稀少，逕流易於挾運泥沙入河。

泥沙量之估計 1925年開始研究Colorado河Boulder水庫內之泥沙問題。Boulder壩以上每年輸沙量自181至272百萬公噸。大壩設計時，水庫內泥沙淤積速率約估為每年169百萬立方公尺，或每年每平方公里389立方公尺，但墾殖局(Bureau of Reclamation)最初之估計僅每年98.7百萬立方公尺。最後採用庫內泥沙淤積之估計，係假定各支流上須建數壩，其價值得五十年內3,700百萬立方公尺，或每年74百萬立方公尺，或每年每平方公里170.6立方公尺。

此河未治理前，當初夏解凍，雪水融化的時，每年發生最大洪水流量，但含沙量甚低。且於夏末或秋季，暴雨驟降，下游支流挾帶泥沙，其量甚豐。

自1914年一月至1931年三月間，為期共207個月，據此期內觀測結果，得知水庫可能於二百年內淤滿。

含泥沙與流量之關係，前以申述，茲不復贅。

Grand Coulee水庫(第一表4)

Columbia河源於Canadian Rockies之Columbia湖，流經加拿大British Columbia省，美國Idaho, Montana及Washington諸州之森林山地，流域面積為192,000平方公里。本區高原積深雪。此河發源處多天然湖泊，洪水時可使洪水峯緩和，河川水流調節。夏季之逕流較大。

Columbia河淺常清澈。洪水時稍渾濁，帶有極細粘土，常浮游水中而不沉澱。故此世界上第二高壩可不受泥沙之患矣。

Lake Austin水庫(第一表5)

自1900至1913年間，舊水庫內大量泥沙曾被冲刷洗去。但新水庫仍不免淤積。十三年內泥沙將水庫滿溢，其速率為每年每平方公里29.4立方公尺，蓋水庫容量僅40百萬立方公尺，與逕流2250百萬立方公尺相較，實太小耳。

1900年庫內淤積之泥沙中，絕無沙礫，但有極細顆粒。水庫末端，則有粗沙摻入，其量約佔淤積泥沙之7%。

Elephant Butte水庫(第一表7)

Elephant Butte水庫之凹水長度凡69.2公里，上達San Marcial。距大壩23.3至31.4公里間，水面狹窄，寬僅八公里，此段之上下游，泥沙淤積情形迥異。

流域概況 流域之一部地區，冲刷劇烈，但普遍均受風雨之侵蝕。溝壑及切開作用，對於廣大之沖積扇形區及露頭之頁岩，影響甚烈。下游流域幾全為淺層之沖積土，沙丘，Gila礫岩及Palomas礫石。若干區域並有第四紀及第三紀玄武岩及流紋岩，並間雜各種白堊紀及第三紀之火山岩。Rio Grande河發源處及高山上，大部為石灰岩。

下游流域，氣候乾旱，草木吃盡，因此地面露出，易為風雨沖蝕，尤以山麓鬆軟頁岩及沖積區，最易受影響。

含沙量 Rio Grande河上游屬Colorado州中南部及New Mexico州中北部之山區，其面積為28,500平方公里。河水來源為雪水，泉水及逕流。水中幾無浮游泥沙。不毛之New Mexico州中部，流域面積35,400平方公里，夏季與初秋，常降暴雨，洪水挾攜大量泥沙，含有膠質粘土，常為4至10%，高達12至15%，上游春季洪水，其含沙量僅0.5至1.0%。

San Marcial以上稍有泥沙淤積，使河床加高，遠達八十公里。San Marcial以下淤積物為極細泥沙，含有大量之粘土及膠質。如以手指撫摸，無沙粒之感，蓋Rio Grande河San Marcial以上二百公里所經之地，盡為頁岩也，且San Marcial以上為沙土沉積物，地面多植樹木，足以防止泥沙之進入水庫。

此水庫之淤積速率實代表含沙豐沛之河流。

水庫內之泥流 水庫底下有一公尺之泥流一層，在清水底下，向下流動，並不擴散，其溫度較清水為高。泥流自出水道流出時，其含泥量為2至6%。此項泥流內之泥沙純為細粘土，無粉沙粒及沙粒。

Lake McMillan水庫(第一表8)

流域概況 本流域屬乾旱區，每年總雨量極不一致。1921年前此水庫以上之Pecos山谷，除低矮之鹽草外，並無其他植物。1912年秋曾有很少鹽西洋杉(Salt Cedar)。迄1915年，其高為一公

尺半。此後水庫末端杉木叢生，並向上游延生320公里。

泥沙淤積之速率 1915年前山谷內泥沙淤積量大為增加。此後水庫末端垂絲柳 (Tamarisk) 及西洋杉叢生，致近年來庫內泥沙淤積速率驟減。原估計於1935年水庫淤滿，因地面植物叢生，情況大異。

南非四大水庫(第一表22, 27, 32及34)

南非四大水庫為 Lake Arthur, Grassridge, Van Rynevelds Pass 及 Lake Mentz。前二者分在 Great Fish河之兩支流上，後二者均在 Sundays 河上，Van Rynevelds Pass 水庫在 Lake Mentz 水庫之上游193公里處。此兩河為南非最易淤積之河道。

本區為甚厚鬆軟之易沖蝕岩石。泥沙在內海沈積後，因地質變動，使沈積物升高，然其層次仍成水平。

本區無森林，主要植物為低矮之 Karroo 叢林，羊羣甚多。高原積雪，為時甚暫，雨量約 508 公厘，但平原區僅 254 公厘。夏季雷雨短急，約佔全年雨量之百分之八十，故河川無永久水流，僅於急雨後短期內有之。

本區因土質鬆軟，地勢陡峻，地面覆蓋物甚少，降雨時暫暴，牧羊事業發達，故地面沖蝕情形嚴重，河川含沙特豐。水庫內泥沙之淤積，格外嚴重。

沙質淤積物乾容重為每立方公尺1600公斤，而庫內未暴露者僅642公斤。

Roosevelt水庫(第一表19)

本流域乾旱區之雨量僅203公厘，山區森林茂盛，雨量約890公厘。大部土壤易沖蝕，下為鬆散不固結之淤積土或分解之花崗岩。乾旱區草木吃盡，致降雨量沖刷作用及溝壑作用均加劇。

此水庫淤積量甚多，蓋鬆散不固結土層使然也。

Lake Worth水庫(第一表29)

本區地形起伏，大部為沙質土壤，小部為膠質粘土。洪水挾攜大量泥沙，成棕黃色。

水庫末端淤積物乾容重自每立方公尺1500至1590公斤。水庫內無沙土之淤積物乾容重自每立方公尺536至865公斤。蓄水量較年逕流為少，而此河不正常之含沙量，增多水庫之淤積。

Zuni水庫(第一表43)

此水庫位於 Little Colorado 河之支流 Zuni 河 New Mexico 州 Black Rock 處。1907年開始建築，其容量為19.6百萬立方公尺。經二十年後，即於1927年因泥沙淤積而容量減少，僅為5.25百萬立方公尺。

本流域主要區為高原，大部為白堊質沙岩及頁岩。Zuni 河乃僅洩洪流之河川，含有大量泥沙。Nutria 溪乃含沙最多之支流。

Zuni 水庫淤積速率之驚人，在於溝壑之發展及嚴重之整片地面沖刷。五十五年前，即牧羊羣，因此草不盡被吃盡。1923年在 Rio de Los Nutrias 主要支流上開始建築防沖工事。1931年安置沖刺閘，於是淤積泥沙，得以局部減少。

Parksville水庫(第一表44)

本流域百分之七十為森林。因 Ducktown 礦區之蒸氣，將森林毀滅，計約52平方公里。兼以本區之粘土及多量雨水，沖刷更形厲害。

Medina水庫(第一表45)

十三年後，於1925年九月測得總淤積量為3.32百萬立方公尺，或每年0.255百萬立方公尺，或每年每平方公里166.5立方公尺。

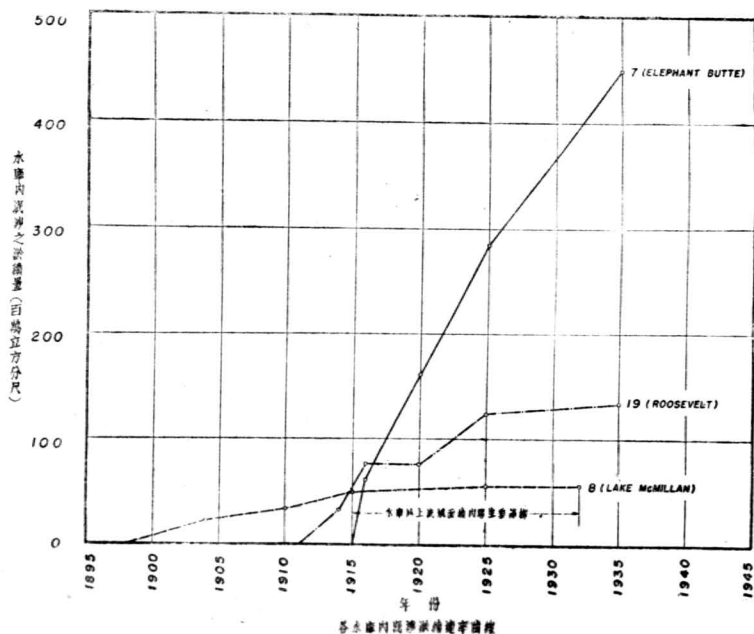
淤積物乾容重平均為每立方公尺480公斤。淤積物色灰，無沙土。1930年九月測量時，降雨稀少，但因用水之需要，水庫內水面一再下降，於是沈積物露晒於太陽，發生相當收縮。某處深度自2.2公尺降止0.80公尺，淤積土乾容重自每立方公尺480增至1270公斤。故1930年測得水庫內泥沙淤積量減為1.57百萬立方公尺，而1925年反為3.32百萬立方公尺。

Gibraltar水庫(第一表62)

本流域逕流至不一，如1921至1922年逕流為87.2百萬立方公尺，而1923至1924年僅為2.76百萬立方公尺。本區地形自小山崗以至大山脈，全為易碎且深之沉積土，如有植物覆蓋，可防沖蝕之虞。水庫完成後，各區森林經十一次火燒。1932年火燒後，520平方公里內僅89.5平方公里未燒。因此，庫內泥沙淤積增加。

Sweet Water水庫(第一表65)

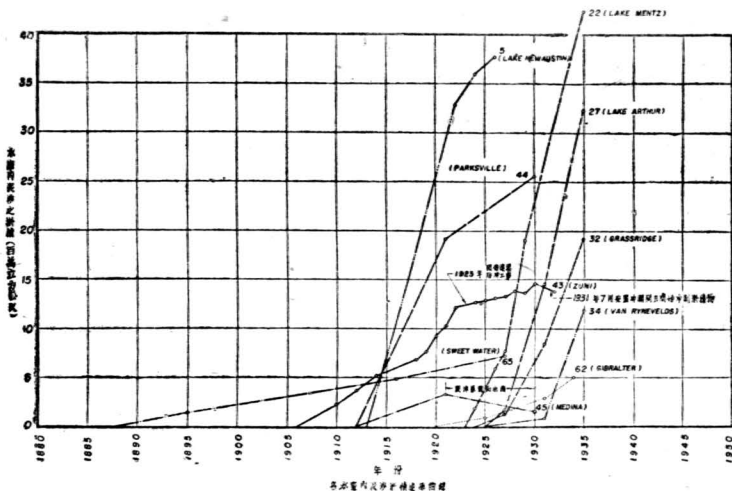
本區山坡大部為荆棘叢林，但山谷較低處，則無叢林。降雨至不規則。39年內之總逕流為915百萬立方公尺。庫內之泥沙淤積之迅速，殆由於天氣乾旱及不規則降雨所致也。



第一圖

總結

上述主要水庫之各項有關泥沙淤積資料詳載於第一表，並將其他水庫之資料同載於該表上。至於各水庫之特殊情形述於第一表之「說明」項下。第二表示各主要水庫內泥沙之某年總淤積量。Elephant Butte, Roosevelt 及 Lake Mc-Millan 水庫內之泥沙淤積量甚大，故其淤積速率曲線繪於第一圖，其他各水庫者，繪於第二圖。第三圖示水庫內泥沙淤積速率與流域面積之關係。



第二圖

自第一二兩圖，可知淤積速率隨年份之進展而減低，蓋因泥沙之繼續增加，其本身發生沈陷，或露出水面，發生收縮，使淤積物漸減其原來體積，或因水庫以上支流河口形成三角洲，使一部份泥沙於此段河底上淤積。同時河川本流水庫末端，亦有此項類似現象。若水庫容量不大，則因泥沙淤增，蓄水量減低甚速，直至庫內淤積至某一程度，則不復淤積矣。

乾旱區域水庫內泥沙之淤積速率與其蓄水量與年逕流比值之關係如第四圖所示。由圖可知，若年逕流大於水庫蓄水量，則水庫內泥沙之淤積速率隨此值之增加而增加；反之，若年逕流小於水庫蓄水量則淤積速率約為常數，其值為400立方公尺/年/平方公里流域面積。

南非四水庫不足代表一般情勢，蓋水庫之完成及其使用，為時甚暫也。

乾旱區域每平方公里流域面積內每年泥沙淤積量約相同，其平均值為356立方公尺，見第三表：

南非 Lake Arthur 水庫以上流域面積為5,900平方公里，但其每年泥沙淤積特豐，約為每平方公里543立方公尺，其他兩三水庫泥沙淤積之速率各為275,415及302，此或因 Lake Arthur 以上流域乃產生泥沙之區也。

Parksville 及 Gibraltar 兩水庫泥沙之淤積亦特豐。兩者流域內均缺乏地面覆蓋物，蓋前者地面覆蓋物為蒸氣所毀，後者為火災所焚。Gibraltar 之泥沙淤積速率曲線成向上凹形，概因斯也。

第一表 各國水庫

次序	國家	河川	水庫	流域面積		蓄水量			平均年雨量 (公厘)	平均年逕流	
				平方公里	公尺	百萬立方公尺	(%,以年逕流計)	百萬立方公尺 (平方公里流域面積)		(百萬立方公尺)	(百萬立方公尺 流域面積)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	埃及	Nile	Aswan	1,610,000	53.0	5,430	6.69	33.8	—	81,300	505
2	美國	Colorado (Arizona)	Boulder	434,000	221.5	37,700	204	870.0	127-254	18,500	430
3	美國	Mississippi	Keokuk	308,000	9.8	457	0.81	14.8	812	56,700	1840
4	美國	Columbia	Grand Coulee	192,000	168.0	11,900	12.05	620.0	—	98,700	5140
5	美國	Colorado	New Lake	99,000	19.8	40	1.76	4.0	533	2,250	237
6	美國	Colorado (Texas)	Austin Old Lake	99,000	18.3	61	2.47	6.16	533	2,470	250
7	美國	Rio Grande	Austin Elephant Butte	68,200	93.2	3,260	264	478.0	254-635	1,234	181
8	美國	Pecos	Lake Mc Millan	57,100	15.9	111	30	19.5	—	370	65
9	印度	Sutlej	Bhakra	57,000	122.0	3,190	18.7	560.0	1142	17,030	2,990
10	印度	Sutlej	Bhakra	57,000	152.5	6,080	35.7	1,060.0	1142	17,030	2,990
11	美國	Tennessee	Hales Bar	56,800	—	193	0.58	34.0	—	33,300	5,860
12	美國	Mississippi	Com Rapids	49,400	—	10	0.184	2.0	—	5,430	1,100
13	美國	North platt	Gurnsey	42,100	32.0	89	4.39	21.0	—	2,030	482
14	美國	San Carlos	San Carlos	35,100	61.9	1,540	410	439.0	254-381	—	—
14a.	中國	北洛河	洛惠壩	27,000	16.20	4.84	0.60	1.79	300-500	810	300
15	印度	Betwa	Pericha	26,700	—	84	—	31.2	—	—	—
16	美國	Rock	Sterlingrod	22,700	—	17	0.392	7.45	—	4,320	1,901
17	印度	Betwa	Dhu kwan	21,400	—	106	—	49.2	—	—	—
18	美國	Big Horn	Boysen	20,100	13.4	20	1.07	9.9	343	1,850	920
19	美國	Salt	Roosevelt	14,900	86.7	2,020	195	357.0	203-888	1,037	696
20	美國	Iran	Fall	13,350	—	—	—	—	—	—	—
21	澳洲	Murrumbidgee	Burrinjuck	12,950	61.0	957	67.4	739.0	—	1,420	1,098
22	非洲	Sundays	Lake Meretz	12,480	—	117	64.8	93.6	305	180	144
23	澳洲	Im.	Fettenbach	12,200	—	—	—	—	—	11,210	9,180
24	澳洲	Phono.	Genfer See	7,420	—	89,200	—	120,200.0	—	—	—
25	澳洲	Mur.	Pernegg	6,290	—	5	—	7.87	—	—	—
26	澳洲	Phine	Bodensee	6,120	—	—	—	—	—	956	1566
27	非洲	Tish	Lake Arthur	5,900	—	78.9	81.0	133.9	343	97.4	165
28	美國	Clear FK, Brazos	Lake Penick	5,840	12.2	3,82	2.79	6.54	—	137	234
29	美國	W. Fr. Tinity	Lake Worth	4,840	11.0	58.3	22.4	120.2	787	261	539
30	美國	Bosgue	Lake Wacc	4,320	—	47.5	—	110.0	634	—	—
31	美國	Little Tennessee	Pheoha	4,210	70.0	51.5	1.38	122.3	—	3,740	888
32	非洲	Fish	Grassridge	4,110	—	79.9	154	194.8	355	51.7	126
33	美國	Toulumne	La Grange	3,890	—	2.88	0.119	7.4	—	2,430	625
34	非洲	Sundays	Van Rynevelds	3,840	34.5	81.7	201	213.0	355	40.7	106
35	美國	Ocmulgee	Lloyds Shoals	3,570	30.5	139.0	—	389.0	1270	—	—
36	美國	Sif	St. Denie	3,510	—	3.46	—	9.85	—	—	—
37	美國	Umatilla	Furnish	3,120	—	6.81	1.14	21.85	—	597	1,912
38	美國	Meckerra	Cheurfas	3,010	—	12.45	43.5	41.4	—	28.7	95
39	美國	Meckerra	Gokak	2,800	—	25.70	—	91.7	—	—	—

泥沙淤積之資料

施測時期		泥沙淤積量 (百立方公尺)	(淤積速率)				說 明	參攷文日	
開始	終了		(百立方公尺/年)	(每萬立方公尺/年)	(每年%以蓄水量計)	(每年%以平均年逕流計)			(立方公尺/年/平方公里)
(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
1900	1927	25	0	0	0	0	0	*最後設計採用	6(P.210), 10(P.219), 2(P.15-18), 3(P.1), 5(P.10), 8(P.1), 6(P.210), 7(P.97-98), 5(P.18), 6(P.210), 8(P.28).
估計			169.0 74.0				389.0 170.6 29.9		
1913	1928	15	138.0	9.20	1.94	0.0162	29.9		4(P.40-46), 5(P.15), 6(P.210).
1913	1926	13	37.8	2.91	7.37	0.1293	29.4		4(P.40), 6(P.210), 5(P.1-3), 5(P.210), 7(P.86).
1893	1900	6.75	29.1	4.31	7.08	0.1745	43.5		5(P.7), 6(P.210)
1916	1935	20.25	450.0	22.20	0.68	1.80	325.0	暴雨不規則。美國西南部諸河中，以此河挾沙特豐。	
1893	1932	38.4	57.2	1.49	1.34	0.420	26.1	流域內雖生垂絲柳，以減河川泥沙。	
估計				24.20		0.1421	425.0	係根據估計之河川含沙量而得	7(P.15),
1913	1930	16.92	56.1	3.32	1.72	0.00997	5.85		6(P.210)
1899	1931	32	1.7	0.53	0.54	0.000975	1.07		6(P.210)
1927	1933	5.9	10.37	1.757	1.98	0.0865	41.7		6(P.210)
1928	1935	6.33	45.5	7.19	0.47	—	205.0	草類被羊羣吃去過多	7(P.86-87)
民24年7月	民35年12月	12.5	5.30	0.424	8.78	0.523		洛惠壩完工後經一次洪水，(爲期約七日)大部水庫容積爲泥沙淤填。12.5年後，淤積泥沙高於壩頂4.0公尺故泥沙淤積量(16.噸水庫容積(7)爲大)至於泥沙淤積速率(以立方公尺/年/平方公里計)係12.5年來之平均値，其值影底，蓋水庫於完工後大部容積既經淤填，以後挾攜大量泥沙，流入下游之故。	12, 13, 11
1855	1932	47	—	—	—	—	—		6(P.210)
1912	1930	18	2.48	0.137	0.81	0.00317	6.04		6(P.210)
1910	1932	22	—	—	1.13	—	—		6(P.210)
1911	1924	13	16.02	1.232	6.23	0.0656	61.3		6(P.210)
1910	1935	25	134.0	5.36	0.27	0.517	360.0	流域內土壤易爲風水沖蝕。乾旱時草類吃去過多。	5(P.8-13), 6(P.210) 7(P.13), 及 8(P.44)
—	—	6.5	2.98	0.458	—	—	34.3		6(P.264)
1910	1910	14	4.9	0.350	0.0376	0.0247	27.0		全 上
1-1-23	31-5-35	12.4	42.5	3.43	2.94	1.908	275.0	地層鬆軟，坡度陡峻，無植物生長，少量不規則暴雨，牧畜事業發達。	6(P.273), 9(P.197)
—	—	6	2.16	0.360	—	0.0321	29.5		6(P.264)
—	—	—	—	2.96	—	—	399.0		6(P.264)
—	—	1.5	0.35	0.233	4.72	—	37.1		6(P.264)
—	—	20	9.87	0.494	—	0.517	80.7		6(P.264)
1/425	30/4 35	10.1	32.30	3.20	4.07	3.28	543.0	全22	9(P.200)
1920	1927	7	1.19	0.17	4.45	0.124	29.1		4(P.210), 7
1915	1928	13.0	17.10	1.315	2.25	0.504	272.0		4(P.30-37), 4 6(P.210),
1930	1935	5	5.87	1.174	2.47	—	272.0		7(P.66)
1918	1930	11.83	5.36	0.453	0.878	0.0121	107.8		6(P.210)
1.1-30	1935	11.3	19.27	1.705	2.13	3.30	415.0	全22	9(P.199)
1895	1931	36	2.35	0.0664	2.31	0.00274	17.1		6(P.210)
1.1255	1935	10.3	11.93	1.160	1.42	2.85	302.0	全22	6(P.210), 9
12/1910	1935	24.33	17.21	0.707	0.508	—	198.0		7(P.56)
—	—	8	7.5	0.0937	2.71	—	26.7		6(P.264)
1909	1931	22	5.55	0.252	3.71	0.0422	80.7		6(P.210)
—	—	50	6.10	0.122	0.98	6.426	40.5		6(P.264)
—	—	33	6.05	0.1835	0.714	—	65.5		6(P.264)

第一表 各國水庫

序次	國家	河川	水庫	流域面積		蓄水量				平均年	平均年逕流	
				平方公里	公尺	百萬立方公尺	(%,以年逕流計)	百立方公尺/平方公里流域面積	(公里)	(百萬立方公尺)	(百萬立方公尺/平方公里流域面積)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
40	美國	Meckerra-	puentein	2,070	47.5	26.6	—	128.6	330	—	—	
41	美國	Iraca-	Avignou-	2,000	—	0.99	0.05	4.95	—	1,098	5,490	
42	美國	Verdun	Quinson	1,800	—	1.36	—	7.55	—	—	—	
43	美國	Zuni	Zuni	1,680	24.3	19.6	91	116.7	330	21.5	128	
44	美國	Ocoee	parksville	1,555	38.1	120.0	10.2	771.0	1,398	1,171	7,530	
45	美國	Medina	Medina	1,522	50.0	314.0	—	2062.0	736	—	—	
46	美國	Lech	Rosshaup-	1,425	—	—	—	—	—	1,960	13,780	
47	美國	Aare	Bieler See	1,380	—	1,245.0	59.0	9070.0	—	2,110	15,300	
48	美國	Aare	Kallnach	1,360	—	1.85	—	13.6	—	—	—	
49	美國	Sarine	perolles	1,260	—	0.99	—	7.86	—	—	—	
50	美國	Kander	Thunersee	1,070	—	6,520	532	60,800.0	—	1,226	11,400	
51	美國	Tiroler	Chiem See	1,015	—	2,220.0	165	2,1850.0	—	1,345	13,260	
52	美國	Ache	Saalache	1,000	—	3.46	0.278	34.6	—	1,245	12,450	
53	美國	Avisia	Avisia	960	—	1.98	—	20.6	—	—	—	
54	美國	Avisia	Djidovia	851	—	1.98	—	23.3	—	—	—	
55	美國	Begrenzer	Bodensee	832	—	48,700.0	5090	585,000.0	—	956	11,500	
56	美國	Reuss	Vierwald	832	—	11,800.0	1573	142,000.0	—	750	9,020	
57	美國	Ghun power	Loch Raven	795	—	1.98	0.535	24.9	—	370	4,660	
58	美國	PontDuloup	Drac	754	—	2.97	—	39.4	—	—	—	
59	緬甸		Meiktala Lake	623	—	37.4	—	600.0	—	—	—	
60		wallen See	Linth	623	—	2,510.0	—	40,200.0	—	—	—	
61		Steyr	Steyrdur-	574	—	8.3	1.32	144.8	—	628	—	
62	美國	Santa yaniz	Gi bralter	519	56.3	18.0	—	347.0	—	—	—	
63		Cismon	Cismon	498	—	12.33	2.24	248.0	—	550	11,030	
64	義大利		Cismon	482	43.9	4.85	—	103.8	—	—	—	
65	美國	SweetWater	Sweet Water Lake	470	27.5	44.9	192	955.0	—	23.4	498	
66	美國	Flat	Michie	440	25.9	15.62	11.5	355.0	1070	135.8	3,080	
67	義大利	Cellina	Mont Reale	435	—	1.23	1.76	28.4	2000	69.8	1,600	
68	美國	Buck Horn	Buck Horn	337	—	1.47	—	43.6	—	—	—	
69	美國	Cotton Wood Creek	Barret	337	54.5	—	—	—	457	—	—	
70	美國	Trinity	White Rock	295	12.2	22.4	—	758.0	938	—	—	
71	美國	Southpe-	Spartonou-	238	15.3	3.33	—	140.0	1208	—	—	
72	西班牙		Almansa	202	20.7	2.97	—	147.0	330	—	—	
73	美國	Horse pen	Greensboro	187	9.2	3.55	—	190.0	1189	—	—	
74	美國	Deep	High point	150	13.7	5.20	—	347.0	1193	—	—	
75	緬甸		Taugunda-	132	—	5.29	—	401.0	—	—	—	
76	美國	SanLeander	Lake Chabot	109	—	20.95	78.0	1923.0	—	26.8	2,460	
77	美國	Morgan creek	University lake	69.8	9.2	2.36	—	338.0	1220	—	—	
78	美國	Cimarrow Boomer	Guthrie Lake	34.4	—	3.78	—	1100.0	847	—	—	
79	美國	Creek	Boomer lake	23.6	—	3.46	—	1470.0	812	—	—	
80	美國	Old Water Creek	Concord	9.82	10.7	1.48	—	1508.0	1220	—	—	
81	美國	Little River	Rogers	1,425	6.7	0.1997	—	1402.0	888	—	—	

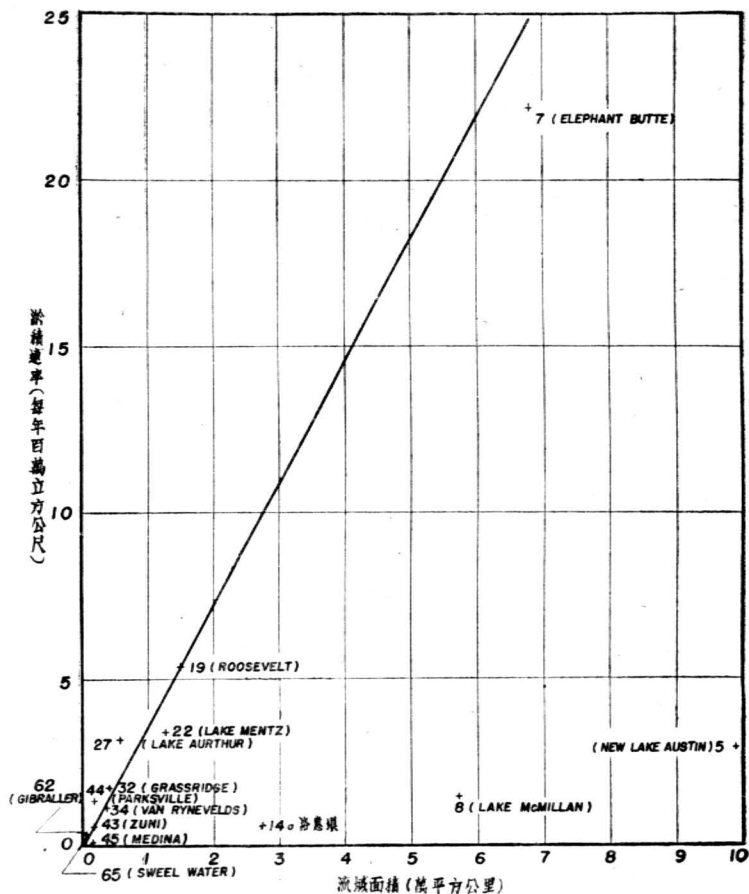
泥沙淤積之資料 (續)

施測日期	泥砂淤積量	(淤積速率)					說明	參攷文目	
		(15) (百萬立方公尺/年)	(16) (百萬立方公尺/年)	(17) (每年%以蓄水量計)	(18) (每年%以平均年逕流計)	(19) (立方公尺/年/平方公里)			
(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
—	—	—	—	0.628	2.360	—	304.0		
—	—	8	.998	0.1248	12.60	0.1138	62.4		6(P.264)
—	—	5	.900	0.180	13.24	—	100.0		6(P.264)
1906	1932	26.2	13.98	0.534	2.73	2.48	318	本流域在濤寧發展之初期。牧羊事業發達，草類被吃盡，築防冲工舉後，得免冲蝕。	6(P.214), (4P.13-15, 7(P.16)
1912	1930	18.75	25.60	1.370	1.14	0.117	881	本區森林為蒸氣所澆枯土多，雨量豐沛。	6(P.210)
1912	1930	18	1.567	0.087	0.0277	—	57.2	於積泥沙暴出水面，有顯著之收縮。	4(P.21-22), 6
—	—	7	2.19	0.313	—	0.0160	220.0		6(P.264)
—	—	20	6.70	0.255	0.0204	0.0121	185.0		6(P.264)
—	—	16	2.51	0.1663	9.0	—	122.2		6(P.264)
—	—	6	.998	0.0714	7.21	—	56.6		6(P.264)
—	—	14	.998	0.0714	7.21	—	56.6		6(P.264)
—	—	152	56.7	0.367	0.006	0.030	343.0		6(P.264)
—	—	35	3.44	0.0982	.005	.0073	96.7		6(P.264)
—	—	17	2.89	0.170	4.92	.01365	170.0		6(P.264)
—	—	8	2.00	0.251	12.68	—	262.0		6(P.264)
—	—	—	—	0.251	12.68	—	295.0		6(P.264)
—	—	24	3.10	0.1291	.000265	.0135	155.2		6(P.264)
—	—	27	3.95	0.1465	.001241	.01953	176.0		6(P.264)
—	—	20	1.64	0.082	4.14	.0222	103.1		6(P.264)
—	—	1.1	1.505	1.368	46.0	—	1814.0		6(P.264)
1896	1936	40	8.74	0.2185	0.585	—	351.0		6(P.264)
—	—	51	3.74	0.0734	0.00292	—	118.0		6(P.264)
—	—	22.5	0.708	0.0315	0.379	.00502	55.0		6(P.264)
1920	1934	14	5.06	0.362	2.01	—	697.0	森林大火，草木盡除，約佔地面80%	6(P.210), 7(P.20)
—	—	10	1.75	0.175	1.42	.0318	351.0		6(P.264)
—	—	—	—	0.38	3.68	—	381.0		
1888	1927	39	7.22	0.185	0.412	.790	394.0	年雨不規則，少並物連蓋	6(P.210)
1926	1935	8.75	.487	0.0555	0.355	.0408	126.2		6(P.210)
—	—	1	.840	0.840	68.2	1.202	1932.0	本流域多石灰岩	6(P.264)
1907	1925	18	.697	0.0387	2.64	—	115		6(P.210)
—	—	—	—	—	—	—	—		
1910	1935	25	4.79	0.192	0.85.7	—	650		5(P.17), 6(P.210)
1926	1934	8.2	0.572	0.0697	2.095	—	293		7(P.49)
—	—	—	—	0.00308	0.104	—	15.3		
1923	1934	11.5	0.321	0.0279	0.785	—	149.2		7(P.39)
1927	1934	7.0	0.305	0.0436	0.838	—	291		7(P.42)
1929	1936	6.0	0.616	0.1027	1.94	—	777		
1875	1923	48	4.57	0.0952	0.454	0.355	874		7(P.20), 6(P.210)
1932	1934	2.92	.0788	0.0270	1.144	—	387		7(P.30)
1920	1935	14.5	0.562	0.0388	1.028	—	1128		7(P.77)
1925	1935	10.25	0.211	0.0206	0.595	—	873		7(P.74)
1925	1935	10.17	0.0973	0.00956	0.646	—	974		7(P.45)
1922	1934	120	4156	0.00380	1.903	—	2670		7(P.57)

第二表 各主要水庫之某年總淤積量(百萬立方公尺)

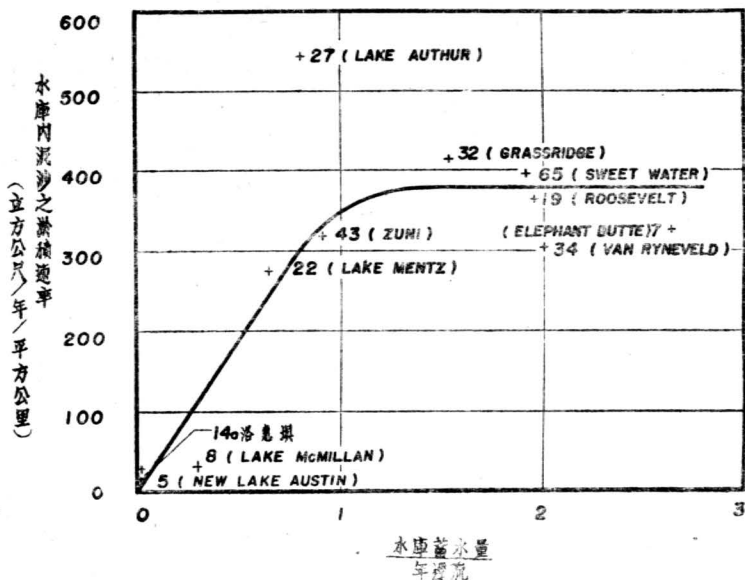
水庫	Lake New Austin (5)	Elephant Butte (7)	Lake Millan (6)	Koosevell (19)	Lake Mentz (22)	Lake Arthur (27)	Grass-ridge (32)	Van Rynevelds (34)	Zuni (43)	Parksville (44)	Medina (45)	Gibraltar (62)	Sweet-water (65)
1888													0
1893			0										1.40
1895			22.2						0				
1904									2.22				
1906			34.5	0					3.70	0	0		
1909									5.18				
1910													
1911													
1912													
1913	0												
1914			51.1	33.3					6.85				
1915		0							7.69				
1916		66.4		76.4					9.24				
1918									10.22				
1919									12.21				4.87
1920		172.5		76.4									
1921													
1922	32.9												
1923													
1924	36.0						0		12.69				
1925		285.0	55.4	124.5		0			12.90				
1926	37.8				5.98				13.11				
1927					6.72	1.655	1.295		13.33			0.985	7.22
1928									13.90				
1929					19.10				13.75				
1930						14.60	8.45	1.080	14.72	25.6	1.567	2.83	
1931			57.2						13.98				
1932													
1933													
1934													
1935		450		134.1	42.5	32.3	19.27	10.90					
	9.90	6.82	5.71	1.248	0.384	0.590	0.410	1.49*	0.168	0.156	0.152	0.052	0.047
	2.91	22.20	1.49	3.43	1.160	3.20	1.705	5.36	0.534	1.370	0.087	0.362	0.185

流域面積(萬平方公尺)
淤積速率(百萬立方公尺/年)



本庫內泥沙淤積速率與流域面積之關係

第三圖



水庫內泥沙淤積速率與水庫蓄水量與年 runoff 比價之關係

第 四 圖

第 三 表

水 庫	流域面積 (平方公里)	泥 沙 淤 積 速 率 (立方公尺/年/平方公里流域面積)
Bouider	434,000	389.0(a) 170.6(b)
Elephant Butte	68,200	325.0
Bhakra	57,000	425.0(a)
Lake Mentz	12,480	275.0
Roosevelt	14,900	360.0
Grassridge	4,110	415.0
Van Rynevelds	3,840	302.0
Zuni	1,680	318.0
Meiktaja	623	351.0
Sweet Water	470	394.0
平 均		356.0

附註 (a) 原估計值 (b) 設計採用值

Lake Mc-Mills及 Medina 水庫內泥沙淤積速率甚低。前者因生垂絲柳，後者露出水面而生收縮之故。

除最高之淤積速率及最低者外，每平方公里泥沙淤積速率每年自275至425立方公尺，其流域面積則自470至434,000平方公里。上述水庫分佈於美國，南非，緬甸及印度。此等乾旱地區得最豐之含沙量，每平方公里流域面積內泥沙淤積速率平均為每年356立方公尺。

綜上所論，可得下列兩重要結論：(一)泥沙淤積速率隨年代之進展而低落。(二)乾旱區域泥沙淤積速率之上限值為每平方公里每年356立方公尺。最大速率不致超過425立方公尺。(1)其下限值可低至零，如 Grand Coulee 及 Aswan 兩水庫。

(四) 結 論

水庫內泥沙之淤積對於水利工程，如灌溉、給水、防洪或水電等，發生嚴重之影響。苟各計劃欲達其完滿效果，則必在最短時期內(通常為五十年)，能籌蓄所需之最少水量。故水庫容量不可少於此項最少蓄水量及此時期內可能泥沙淤積之容積。欲準確測定此項泥沙在水庫中所佔之容積，乃設計水庫時之重要問題。

每年泥沙淤積量大部視每年河川挾攜泥沙之流入水庫及水庫內淤積之情形而定。故中心問題即在如何決定水庫內泥沙淤積速率，並研究如何設法減低河川挾沙量或水庫淤積量。

源於雪水之河水，通常幾不挾帶泥沙。源於雨水之河水，則常挾帶泥沙，所攜泥沙之多寡，全視該區降雨量強度及不規則性而定。後一類河川(雨水)之含沙量常與流量成正比。大凡來自暴雨之河川，能挾攜大量泥沙，如 Roosevelt 及 Elephant Butte 水庫，但其年淤積量無異於雨量分佈均勻之同一大小流域面積另一河川所挾攜者，然年雨量並不相差太多。

水庫以上流域性質全視河川本流及其支流流域面積之地質情況，如泥沙冲刷及植物生長之性質與範圍而定。

各流域內泥沙之產生，其量出入甚大。Columbia 河 Grand Coulee 壩以上，幾無冲刷，然 Rio Grande 河 Elephant Butte 壩以上，Salt 河 Roosevelt 壩以上及 Suttlej 河 Bhakra 以上，均有大量泥沙。泥沙特豐之河流，其水庫內泥沙淤積速率，每平方公里每年平均為356 立方公尺。最大淤積速率不致超過每年每平方公里425 立方公尺。

水庫內泥沙淤積速率可根據下列兩項估計之：(一)已建水庫，有同一流域性質者；或(二)經過相當年代，舉行有系統有計劃之含沙量測驗，以求正確之含沙量。此項測驗旨在測定河川之浮游泥沙，如可能，並須測定河床泥沙。

河川含沙量係根據其挾攜浮游泥沙之重量測得，故必須變成體積，以求水庫內泥沙淤積之速率。按 O.A. Faris 試驗結果：庫內淤積泥沙乾容重約自每立方公尺300 至1700公斤不等。長期露出水面者1440公斤；短期露出水面者1120公斤；長期浸沒於水中者480公斤。Boulder 水庫內泥沙面積速率估計時，假定其乾容重為每立方公尺1380公斤；Bhakra 水庫則為1400公斤。(2)

至於河床泥沙，其量變化至廣，約為浮游泥沙之17%至25%。然一般言之，較大水庫之河床泥沙影響不大。蓋粗質泥沙通常將達水庫時，因流速遲緩，即行淤積，故河床日漸淤高，而水庫內粗

(1) 按黃河在陝州平均每年輸沙量為1,500百萬公噸(見參考文日(12))。設於陝州擬建庫壩內，全部泥沙僅行淤積，則泥沙淤積速率可達1500立方公尺/年/平方公里流域面積。

(2) 長35年11月吳以張先生在陝西乾溝土壩內測得庫底淤土之乾容重每立方公尺1205公斤，但淤土已現裂縫。又在庫內水面下距上游壩場約5公尺及60公尺處，分別測得每立方公尺945及980公斤。

質泥沙則減少。

庫內泥沙淤積速率之減低概由於其暴出水面，收縮所致，或由於支流河口三角洲之形成也。

庫內泥沙淤積速率宜以每年每平方公里流域面積內若干立方公尺表示之，若以水庫蓄水量之百分率表示之，實屬欠妥，例如 New Lake Austin 水庫之淤積速率，以蓄水量計為每年 7.37%，與其他水庫比較，此值較高。然以每平方公里計為每年 29.4 立方公尺，此係較低之值。反之，Elephant Butte 水庫之淤積速率，以蓄水庫計為每年 0.68%，但以平方公里計為每年 325 立方公尺。按泥沙淤積速率以蓄水量之百分率計，則可知 Lake Austin 水庫內淤積速率較 Elephant Butte 水庫內者六十一倍（ $7.37/0.68$ ），然以平方公里流域面積計者，後者較前者六十一倍（ $325/29.4$ ），且與事實相符。故水庫內泥沙淤積速率之決定因素乃流域面積，而非蓄水量也，蓋蓄水量可為年逕流之若干倍，或僅為其幾分之幾，視各水庫之需要及限制而定也。

流域內泥沙冲刷速率之減低與控制，可藉培植草木，防止原來地面覆蓋物之去除，或於相當冲刷地區，加以適當之防冲工事。雖防冲工事可影響泥沙之產生及分配，但其效果有限耳。

若將出水道之洩水量放大或其位置放底，可控制一部份泥沙。但其洩水量及位置視逕流，蓄水時期及用水需要而定。

若水庫內泥沙淤積至其蓄水量較需用水量小時，則於主流或支流上，須研討另建其他水庫。

參考文目：

1. A. N. Khosla: Silting of Reservoirs,
2. Egyptian Irrigation, Vol I, Wilcocks & Craig, Third Edition, 1913
3. Report of the Colorado River Board on the Boulder Dam Project, 1928
4. The Silt Load of Texas Streams by Orville A. Faris, U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 382, Sept. 1933
5. Report on the Silting of Reservoir etc, by A. R. E. Edgcombe, I. S. E., U. S. Government Publication, 1934
6. Transaction of the American Society of Civil Engineers, Vol. 101, 1936
7. Silting of Reservoirs by Henry M. Eakin, U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 524, 1936
8. Dams and Control Works, Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior, 1938
9. Transactions—Second Congress on Large Dams, Vol. V, 1938
10. The Suspended Matter in the Nile by Y. M. Simaika, Ministry of Public Works, Egypt, 1940
11. 黃河水利委員會：黃河之水文，民國 35 年 5 月
12. 張瑞瑾：黃河泥沙冲積數量之分析，水利十五卷一期，民國 36 年 10 月
13. 全國經濟委員會水利處：陝西省水利概況

陝西省灌溉工程對於泥沙之處理

劉鍾瑞⁽¹⁾

(一) 水文

在內地從事水利事業，每感水文資料之不足，難以下手，此種情形，確為一般工程師所最棘手之事實。作者在陝西工程地工作之經驗，認為工程師欲克服上述困難，應在每種工程，當着手測量時，即須指定專人負責水文觀察之專責，則測量完竣之後，水文記錄，逐漸增加，以之為設計之根據，雖記載較短而相當精確。尤以工程事業設計完成之後，經過預算，及籌款等步驟，更予工程家以考慮水文之機會。迨工程自興工至完成，距原來測量時期，少則三五年，多則七八年，其逐年水文資料，予以印證煥然備具，證以設計之基本資料，則加減可以隨意。惟水文站之設備，每多因陋就簡，尤以抗戰時期，儀器之補充，倍增困難。如測量流速，不外以浮子沿河干觀察，取水樣僅憑人手之所及，而過遠烘乾更屬涼草，似無「水樣器」以取適當地位之水樣，又乏分砂標準，作進一步研究之工具。是以本文所論泥沙問題，僅為各渠實在觀察之記錄，作為渠上用水之概念而已。

(二) 各河含沙情形

黃河流域各支流在陝西境內者，依含沙量之分類，可分為清水，及濁水兩類。前者沿秦嶺北麓一帶，渭河上之支流，如石頭河(梅惠渠)，黑河(黑惠渠)，澇河(澇惠渠)，灃河(灃惠渠)及漢蕭諸河，常年含沙量不超過1%，惟河底隨水推移之粗沙，因河底甚陡，其值甚大，應予注意。

涇河本身常年為清水，而在大汛時期，其含沙量，每可大至48% (以重量計)。蓋涇河有二源，其一來自平涼崆峒山為西源，其北源則來自慶陽之上，完全流經黃土高原區。故暴雨中心如在平涼一帶，則含沙量或不致超過20%，且旋即澄清。如暴雨中心降至慶陽一帶，則黃土原上含沙量，蔚為奇觀。當含沙超過30%以上時，河水完全成泥漿，試伸手入水，在手上可附着黃泥一層，諺所謂：「跳在黃河洗不清」，蓋水為流質，已變成黃漿，當然不能稱其為水。

渭河原出甘肅，流入陝境之後，納各處小支流而東行。其河床本身，坡度由千分之一，漸減至二千分之一。納左右各支流，其含沙之來源由塋岸陷入主流者甚多，尤以咸陽之下，最為顯著。沿秦嶺北麓，多有清流注入渭河，故其含沙量未超出36%。

(三) 含沙量變化

河道含沙量之變化，就浮游沙質而論，其增減當隨流量之大小，及流速之大小而變動。當暴雨初過，河中流量逐漸增加，是時含沙量，並不隨流量增加而增大，必再經過三數小時至一晝夜之後，含沙量開始增大。蓋洪水初來，先將原有河水撞高若干，而正式水頭，或在一小時之後，方能達到，故有此種現象。反之，當河水位逐漸降低，則含沙量反逐漸增高，蓋水量已逐漸減小，其總輪

(1) 陝西省水利局長兼總工程師

沙量尙未逐漸變小，則單位含沙量反致增大。上述情形，爲暴雨之後所有之含沙變化，如細雨紛紛，經四五日，則含沙當隨河水流量而增減。

(四) 引水工程之實況

在計劃渠道開始，依據估計之含沙量，及細沙在靜水中浮游之時間，以規定引水閘門，沖刷閘門之式樣及孔數；以及門檻之高度，次及渠道斷面，與平均流速之大小。

涇惠渠於民國二十年計劃，採方孔式閘門三孔，閘門檻低於壩頂3.3公尺，在壩之左側留有沖刷道一孔，以閘板司啓閉。經試用之後，知閘門在大水期間，以受有13公尺以上之水壓力，操縱機關，不甚靈活。而閘門不能完全關閉，致將含沙量30%之洪水，引入渠道，渠道因而淤積30公里，形勢異常嚴重。因於次年改由幹渠1.8公里處，傍河依渠，另建引水閘二孔（潛流式），排沙閘三孔，檻底較引水閘底低0.5公尺，及溢流固定壩一處。所以防止含沙過大之洪水，因原有引水設備失效，而擁入幹渠之後，再有第二道防線，以排除過量之洪水及泥沙，並司沖沙之務。施用十三年來，効力甚佳，而過量之含沙，未入幹渠。上項之經驗，足爲陝西依次各渠計劃之借鏡。

渭惠渠引水工程，在郿縣魏家堡，渭河左岸，地勢爲一廣大之平原，故引水口，採潛流式，寬2公尺，計六孔，可引水每秒30公方。傍引水閘之下，爲沖沙閘，計2公尺寬二孔，其門檻較引水閘低0.5公尺。另在引水方向，作導引牆，以利沖沙。工程完成於二十六年，施用以來，發現：一、沖刷閘孔太少太小，不能於規定時間，將淤積引水閘前之泥沙，完全沖走。二、引水閘門採用潛流式，其浮游泥沙可引入而無害，惟渭河河底滾動沙邱，繼續向渠中移動，曾於二十六年，使用之後，幹渠5公里以上，爲滾沙淤填深達1.2公尺，影響引水甚鉅。因改變沖沙辦法，每日以二小時至三小時，爲沖淨引水閘前淤沙之時間，另於引水閘門之前半公尺，置固定閘板，高0.60公尺，以使滾沙入渠以前，不致跳躍衝入渠道。復在引水閘以下1.5公里處，建置排沙閘一座，以司擴清引水渠道之積沙。十年以來，渭河砂害，尙無顯著之威脅。因此復得三種經驗：

(一) 在滾沙嚴重之河道中，引水設備，宜採上下雙層閘門制，以防止滾沙跳躍入渠。

(二) 沖沙閘孔之最低寬度，須有引水閘寬度一半以上，方可應用裕如，而沖沙閘門檻，亦愈低愈佳。

(三) 導引牆之設備，在沖沙閘上下兩游，均甚重要。

漢惠渠引水設備，在郿縣之武侯鎮附近，針對上述之經驗，加以改善，即放大沖沙閘門爲4公尺，一孔，及引水閘上設雙層閘門。以漢江爲清水，引水時僅防止滾沙入渠，即可收圓滿效果。雙層閘門在小水時期，可用潛流式引水，洪水時可用滾流式引水，滾沙決無入渠之機會。惟漢渠施工爲二十八年至三十年，工程材料異常缺乏，沖沙閘門，用小鐵道彎曲成橫梁，另加滾軸，曾以鐵軌四人，工作一年，閘門方始完成。而啓閉機械，則採取日寇在潼關施放之炸彈及砲彈皮作鐵架，而牙輪均爲銅錢鑄製者。是以切記日寇之無情砲彈，已轉爲工程師所應用矣。渠道於三十年完成，放水以來，以管理得宜，泥沙未足爲害。惟引水地點傍川夾公路，路基爲綠泥石，易風化，遇水則溶解，使第一段渠身，時常有塌陷之虞。雖在渠底加築橫牆，及片石護岸，仍不免走失。引水閘前沖沙閘既加大，每隔旬日，沖沙一次，閘前可免淤積。

漢渠依次之各渠，如襄惠、涇惠等渠，對於引水設備，均已採用雙層閘門，及大孔之沖沙閘。

(五) 泥沙與流速

浮游泥游，多爲黃土之細粉，在春夏之交，五月二十日前後，河水微漲，其含泥甚肥，最宜灌田。故含沙量雖高至15%，亦可從容放入，無害渠道。水流在渠道之中，有1.00公尺至1.05公尺之

流速，即可將泥沙完全運走，無停滯之虞。若流速在 0.8 公尺之下，據各渠經驗，皆不能挾走 15% 之泥沙。如欲獲得 0.8 公尺以上之流速，則土渠坡度，決不能在二千分一以下（黃土粗糙率容另為文詳述）。在設計時，取黃土渠道之粗糙率為 0.0225，而實際一經放水，及黃土細粉之灌漿，其粗糙率可降低至 0.017 以下，因而計劃之平均流速為 1.00 公尺時，則中泓最大流速，可達每秒 1.2 公尺，因此陝西關中各渠規定：

- (一) 河水含沙量在 15% 以上時停止引用。
- (二) 河水含沙量在 15% 至 5% 之間時，幹渠在二千分一以上者，可以引用。
- (三) 河水含沙量在 5% 以下時，各種坡度渠道均可引用。

在管理者知含沙與流速為正比，在引水灌溉之民衆，則每有誤解，故自動引用河水，在管理上，縱有困難，而權宜利害，當以服從科學管理為最有利。

(六) 輸沙統計

各渠引水，試以最大泥沙時估計其輸沙量。以渭惠渠為例，假設引水為每秒 20 公方，含沙量為 5%，則每秒引入之沙量為 1.00 公噸，每晝夜為 86,400 噸，合 54,000 公方，如連續引水七日，為 378,000 公方，以灌田 300,000 畝，每畝可得淤積 1.2 公方，約高 0.002 公尺。

(七) 幹支渠及農渠之輸沙

關中流域，河流含沙，如此之大，幹渠坡度，最小須在二千五百分之一以上，方能達成輸送泥水之任務。在灌溉區域之中，整個地形上，多西高而東低，因地面之變化，未盡適合幹支渠之坡度，故利用地形，添築跌水。各渠跌水形式不一，而每渠之跌水，調整水面，以保持水在地面上流行，同時每一跌水，在輸沙功用上，具混合均勻之能力。故渠道在同一斷面之內，可輸送含沙 15% 之泥水，而不致淤澱。同時在輸送含沙，小於 1% 時之清水，亦不致冲刷渠道。在渭惠渠上管理之習慣，每年十月間，須將 15% 含沙量之河水，引入幹支渠，使其稍具淤積，以備在冬季水清之時，略為冲刷之用。其幹支渠上，本身之倒岸作用，則為數甚微。

涇河含量在 5% 以上，幹渠坡度在三千分一以下時，即不能引水。當二十三年時，涇惠渠北幹渠有一段有趣之教訓。緣北幹渠在計劃時所劃定之範圍，由涇陽縣社樹分水關起，沿北原最高可能灌溉範圍，向東引用，迄漢堤洞，再折出中白渠（現稱第三支渠）之北，仍沿最高灌溉範圍，以三千分一坡度，向三原縣城內輸水，統稱之為北幹渠。是年夏，棉田需水，而河水之含沙量，均在 5% 以上，按實際情形，北幹渠漢堤洞三原間，不能受水。八月初間，省主席鄒方子先生，召余詢問，涇惠各渠均可受水，非以此段渠道，錫開關不放水，當以含沙量大，如開放開門，則渠身甚易淤積，不若稍緩涇河含沙降低之後。再行引用為對。主席認為泥水淤積，未足置信，不妨試放以觀成效，渠身縱淤積，省政府願負責掏洗，因遵命於八月十二日放水，至十八日，此段渠道已淤高 8 公分，長達 6 公里，因簽准主席撥款四千元（每公方工價一角五分），至十月半，全部淤塞方始掏洗。即主席並未完全置信，因復派員驗工，凡新淤部份，均為細黃土層，舊有淤底，則現黑棕色。從此次實地放水之證明以後，三原城內民衆，不再嘗試泥水，並依主席意見，更改漢堤洞三原段北幹渠，為第一支渠。蓋主席曾稱，支渠無水，情有可原，既稱幹渠，應隨時有水。是從事水利計劃者，對於命名，不可不慎也。

農渠由幹支渠引水，依地形及田畝地畔引水，所具之坡度，以八百分一為最陡，通常一千五百分一，可得挾沙之流速，農渠可免淤積。如坡度降低，則水流停滯，即現淤積。農渠為分散渠水之

責，祇要斷面整齊，水流速度在 1.0 公尺左右，可不虞淤積。有時或有局部淤積，可隨時清除，使之排入田地。尤以冬季用水，多具清除渠道之責，農渠引用清水灌稻田時，尤宜緩慢為佳。

(八) 泥沙對於農田之影響

陝省各河含沙，既如上述，其沙質對於施灌田地有若何影響，為各方所關心。作者非土壤專家，並未對土壤有若何之分析。據個人所知，黃土平原多為黏土較重之礫性土壤，因黏土較重，故在農民耕種時，有取河沙攪入田地以減少其黏度者，如咸陽渭河之濱，即有此種措施。涇渭兩渠施灌泥水之後，每年雖有少量之淤積，而此種淤積，既可充肥料，又可減黏度。故農民嘗謂堅固之黃土，得泥水而植物反極茂盛，名諺所謂：「既灌且糞長我禾黍」，信有之矣。

農田在農渠上引水，有兩種現象：在農渠上游者，願將農渠挖寬挖淺，寬所以盛水量，淺者以易於引水入田；在下游人民視上游農渠應深應窄，以其不易將水浪費，而多為下游利也。結果渠之坡度及輸沙情形，均因渠道之不合規定年而有淤塞。在管理農渠原則，仍須注意泥沙之自由流入田地，上游下游之偏見，均不能作為整齊農渠之目標，尤為工程家宜注意之事項。

(九) 結 論

(一) 本文參考材料，本擬即以歷年各渠輸沙統計及各河歷年輸沙情形，以手頭水文資料未整理齊全，故暫有闕如，一俟整理就緒，再為發表。

(二) 由含沙量甚大之河流中引水，其引水方法深值得研究，尤必須時時顧到事實上之應用，蓋每屆夏令旱水淺，引水將成問題，一旦各河上游河水暴漲，各渠引水勢須因泥沙加大而必須停水，將予農民以最不良之印象。如何能使引水及用水者，相互諒解，為工程家之職責，要多注意平時之宣傳。

(三) 欲減少各河泥沙，治本方法，在上游土壤之保持，惟土壤工作為農業家之一部份，水利工程師尤宜隨時注意配合工作。

(四) 關於含沙量觀察方法，近代進步甚多，容再為文中論。

(五) 各渠計劃時，多為在陝同三集聚磋商之結果，取其合於實用及可能做到者緩為之，明知力與心違之處尚多，望讀者以諒察是則幸甚。

平衡渠道斷面形式之研究

范 家 驛 (1)

(一) 平衡渠道研究之歷史

平衡渠道云者，即渠道於承納其設計流量時，不沖不淤，而呈穩定狀態之渠道也。由此可知在平衡渠道中，流速既須足以搬運原填入渠之泥沙，復不可過大，以致沖蝕渠身。關於過去對此問題之研究成果，Prof. E. W. Lane 於其“穩定土渠”(2)一文中敘陳甚詳，茲擇要譯述於後。

十九世紀末葉 R. G. Kennedy 於印度 Lower Bari Doab Canal System 中取達於平衡及近乎平衡之渠道凡二十餘條，加以分析，而得其結果換為公式

$$V_0 = C d^n$$

式中 V_0 為滿流時之平均流速， d 為水深， C 及 n 為二常數。在 Lower Bari Doab Canal System 中，若以英制計， C 為 0.84， n 為 0.64 Kennedy 認為 C 將視所搬運泥沙之粒徑及數量而變， n 則為一無何變動之常數。後人之仿 Kennedy 公式而另給兩常數值以求符合特殊地區之情況者，不慮十計，惟 C 值不僅視泥沙粒徑而改，且隨泥沙數量而改之原意，則多被忽略。

屬於 Kennedy 一類之公式，認為渠道之能否穩定，悉視平均流速是否等於臨界流速為斷，後之研究者，則認為除平均流速須等於臨界流速外，尚有其他條件亦須滿足。

E. S. Lindley 就其於 Lower Chenab Canal System 中之實際觀測結果，認為欲滿足平衡條件，除流速外，渠之寬深應有一定之比例，即

$$V_0 = 0.95 d^{0.57}$$

$$BB = 3.8 d^{1.61} \quad (BB = \text{底寬})$$

E. W. Woods 除確定渠寬與渠深之關係外，復將渠道比降與流量之關係納入，其所主之平衡條件為：

$$V_0 = 1.434 \log_{10} B_m \quad (B_m = \text{平均渠寬})$$

$$d_a = B_m^{0.481} \quad (d_a = \text{平均渠深})$$

$$S = (2 \times \log_{10} Q \times 1000) \quad (S = \text{比降}, Q = \text{流量})$$

G. Lacey 復進一步而將潤周及泥沙粒徑之影響納入，得平衡條件如下：

$$P = 2.668 Q^{0.5} \quad (P = \text{潤周})$$

$$Qf^2 = 3.8 V_0^6 \quad (f = \text{推移質之粒徑係數})$$

$$V_0 = 1.17 \sqrt{fR} \quad (R = \text{水幕半徑})$$

$$f = 8 \sqrt{D} \quad (D = \text{泥沙粒徑})$$

(1) 中央水利實驗處助理研究員

(2) E. W. Lane: "Stable Channels in Erodible Material", Trans. A. S. C. E. Vol. 102, 1937.

者將上列四式予以歸併，可得

$$V_0 = 3,305 D^{0.25} R^{0.5} \quad (1a)$$

$$P = 66.4 D^{0.25} R^{1.5} \quad (1b)$$

$$P = 2,668 Q^{0.5} \quad (1c)$$

(1a) 式係與 Kennedy 之公式同型，然 Lacey 僅注意到常數 C 中包括粒徑之因子而忽略亦應包括挾沙數量之因子，(1b)，(1c) 兩式則賴以確定斷面形狀，諸式中無渠道比降之因子。

以上諸公式，概以英制為單位，所根據之實際紀錄，悉得之於印度，其他水工人士亦有就埃及等地之經驗演為平衡渠道之公式者，雖形式各殊，在理論上之出發點，蓋無特殊之處。

實則影響渠道平衡之因子為數至夥，Prof. E. W. Lane 嘗以之別為數類⁽¹⁾：(1) 水力因素，包括渠道比降，糙率，水磨半徑或水深，平均流速，流速分佈及水温等；(2) 渠道斷面，包括寬，深及邊坡等；(3) 挾移質之性質及數量，包括粒徑，粒形，比重，粘結性及挾運數量；(4) 渠床底質之性質，包括粒徑，粒形，比重，粒配度，粘滯性，及堅實度等；(5) 其他因素，包括渠線，流型，及微激之粉光作用等，其中一部分因子，或因其在一般情況下影響微弱，或因其本身變化不大，故可以不計。但大多數因子之影響強弱如何隨所在之特殊環境而異趣，殊不易作泛然之結論，如欲以一二公式將所有因素盡行納入，事實上固不甚可能。

關於含沙水流，吾人之認識尚極幼稚，無論所含者為懸移質或沖移質，現有理論皆猶在萌芽階段。而渠道之“平衡”，其中乃含有錯綜複雜之關係，雖在實際上，於某一特殊地區，積多年之經驗，可能對“平衡”條件獲得體驗；但如欲自理論出發，獲取結論，使之能適用於任何地區，則困難滋多。譬如前文中所舉諸氏之公式，無不以臨界流速作基本出發點，而近人對推移質之研究，則有對於臨界流速之存在根本表示懷疑者。⁽²⁾ 雖此中之是非正誤，非本文所欲研討，然由此可知吾人對泥沙知識之淺薄及理論之泛濫無歸也。

對渾水水流吾人既乏認識，本文暫以清水土渠為對象，清水無淤積可言，故本文之所謂平衡，蓋指渠道各部之抗刷力恰與水流之冲刷力相消，而不發生冲刷之意耳。討論時係自水流之推移力出發，獲取結論，復採川西諸渠之實測記錄，加以印證。

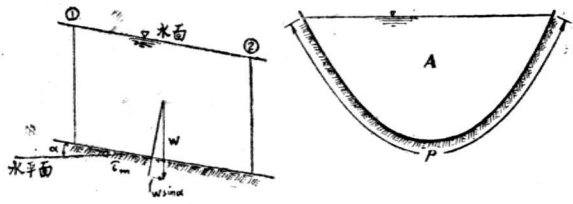


圖 (1)

二、水流推移力與沙土抗移力

2.1 水流平均推移力 流水分子與分子之間，有剪力存在。此種剪力或稱推移力 (tractive force)。在線流 (Stream line flow) 中，某點之推動力為 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ ， μ 為為水之粘滯係數， V

(1) prog. Lane 原將(3)，(4)兩類併為一類，茲為避免兩者之混淆起見，原折為二。

(2) 參看 H. A. Einstein: "Formulas for Transport of Bed Load," Trans. A. S. C. G. Vol. 107, 1942.

爲該點之流速， y 爲至底壁之垂直距離。在紊動流 (turbulent flow) 中，各點之推移力爲 $\tau = \rho \epsilon_m \frac{dv}{dy}$ ， ρ 爲密度， ϵ_m 爲動量邊係數，在水深鉛直方向， ϵ_m 非爲一常數，即 $\epsilon_m = f(y)$ ，故水流之推移力亦爲水深之函數，因之斷面潤周上各點之推移力，顯然因速按 $\frac{dv}{dy}$ 與 ϵ_m 值之不同而有弱強，設以 τ_m 代表某斷面潤周上之平均推移力，則 $\tau_m = \int \frac{\tau dp}{P}$ ，潤周上某小段 dp 之推移力爲 τ ， P 爲潤周全長。

今取等速流 (uniform flow) 渠道 (1) 至 (2) 一段爲自由體 [圖(1)]。根據動量公式，求該自由體之平衡方程式。動量公式爲 $\Sigma F = \frac{\partial mv}{\partial t} = 0$ ，即在 (1) 至 (2) 之間，單位時間內動量之變化，等於作用於自由體之諸力之和。

作用於與水面平行方向之諸力爲：該段水重之分子力 $W \sin \alpha$ ，渠底沿潤周 P 之阻力 $\tau_m P$ ，(1) 與 (2) 兩處之水壓力 (等量而反向)，以及水面空氣阻力，現不計空氣阻力，得平衡方程式：

$$W \sin \alpha = \tau_m P$$

因 $W = \gamma_0 A l$ ， γ_0 爲水之密度， A 爲斷面面積， l 爲 (1) 至 (2) 長度，以 W 之值代入上式，則得

$$\gamma_0 A l \sin \alpha = \tau_m P l$$

α 角之值甚小，故 $\sin \alpha = \tan \alpha = S$ (水面之比降)，則

$$\tau_m = \gamma_0 \frac{A}{P} \sin \alpha = \gamma_0 R S \quad (2)$$

$R = \frac{A}{P}$ ，即水器半徑，自平衡條件得：水流之渠底推移力必等於渠底之剪力，故 τ_m 即爲水流平均推移力。由式 (2) 知：潤周上之平均推移力爲流水密度，水器半徑，與水面比降之乘積，惟在一般近似拋物線之整齊渠道中，潤周上各點之推移力通常假定與水深成正比，即

$$\tau = kt \quad (3)$$

式中 K 爲常數，其值可以下式計算而得：

$$\begin{aligned} \therefore \int_0^P kt \, dp &= P \tau_m = P \gamma_0 R S \\ \therefore K &= \frac{P \gamma_0 R S}{\int_0^P t \, dp} \quad (4) \end{aligned}$$

P 爲潤周之總長， t 與 P 之關係，視斷面形狀而定。

2.2. 沙土抗移力 渠道土壤，對於水流推移力，有抗移作用，此作用力，謂之沙土抗移力，通常認爲係沙土之粘滯力與內摩阻力之和：即沙土抗移力 $R = C + \mu W$ ，其中 C 爲土壤之粘滯力 (不因外力作用而有改變)， μ 爲摩阻係數， W 爲垂直於摩阻面之重力，又有學者認爲粘滯力 C 爲內摩阻力之特例，即 C 亦可以垂直力乘以另一係數表示之，同時，沙土之抗移力又因土壤之組合，粒形，結構，密度，含水量等因子而有改變。

設渠底滿鋪同一大小每粒有效重量爲 W 之泥沙，假設其摩阻力爲 μW ，則其潤周上之抗移力爲 μWP ，如水流之推移力大於沙土之抗移力，沙粒即開始滾動，亦即冲刷之開始也，現以 τ_c 表示其單位面積臨界抗移力，自平衡條件得

$$\tau_c Pd = K' \mu w \left(\frac{P}{d} \right)$$

d 為沙粒直徑， p/d 為潤周上沙粒之數目， K' 為常數，視泥沙之排列及結構而變，

$$\text{又 } w = (\gamma - \gamma_0) \frac{\pi d^3}{6}, \quad \gamma \text{ 為沙粒之密度, } \gamma_0 \text{ 為水之密度。}$$

$$\text{則 } \tau_c = K' \mu (\gamma - \gamma_0) \frac{\pi d^3}{6} \cdot \frac{P}{Pd^2} = K' \mu \frac{\pi}{6} (\gamma - \gamma_0) d \quad (5)$$

此式表示臨界抗移力與沙土密度，粒徑成正比；如普通各種粒配之土壤言，式中之 d ，概為沙土之有效直徑。

2.3 水流之平均推移力與沙土之抗移力，通常以 g/m^2 表示，Schoklitsch, Casey, Krey, 張有齡諸氏，曾用各種大小或各種組合之沙石等從事試驗，求得各種沙石等之抗移力，至於其沙石移動情形之規定，各種程度上之不同，(參閱本刊十四卷一期第四頁小註與第五頁圖)

$$\text{Krey 氏公式: } \frac{\tau}{\gamma_0} = (0.045 \sim 0.074) \left(\frac{\delta - \delta_0}{\gamma_0} \right) d$$

$$\text{美國水道實驗處 } \therefore \frac{\tau}{\gamma_0} = 0.0290 \left[\frac{\delta - \delta_0}{\gamma_0} d \right]^{1/2}$$

$$\text{Schoklitsch } \therefore \frac{\tau}{\gamma_0} = \left[\left(\frac{\delta - \delta_0}{\gamma_0} \right) d \right]^{3/2} C \lambda \quad \begin{array}{l} C \text{ 為常數 (長度}^{-1}) \\ \lambda \text{ 為粒形係數} \end{array}$$

$$\text{Kramer } \therefore \frac{\tau}{\gamma_0} = 0.0138 \frac{d}{M} \left(\frac{\delta - \delta_0}{\gamma_0} \right) \quad \begin{array}{l} M \text{ 為副一係數} \\ \text{(Coefficient of} \\ \text{uniformity)} \end{array}$$

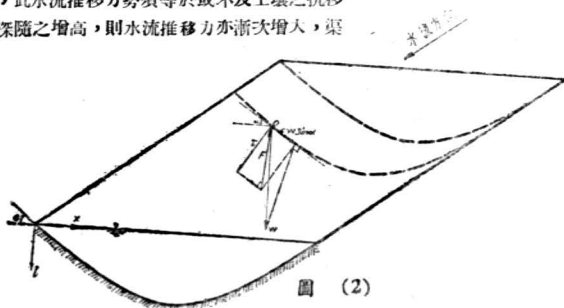
至於實際情形，據水利十四卷一期周宗蓮著泥沙動態與河流清性一文中，錄德國紐倫堡政府工程師所得沙土臨界抗移力為

直徑 0.4 至 1 公厘之石英沙	250 至 300 g/m^2
直徑 0.2 至 0.4 公厘之石英沙	180 至 200 ,,
泥土	1000 至 1200 ,,

三、平衡渠道斷面形狀公式之演引

3.1 設某種組合土質之梯形斷面，受某種水流情形 (即流量，比降，流速，水深等) 之水流推移力之作用，仍能維持原狀，此水流推移力勢須等於或不及土壤之抗移力也。如流量逐漸增加，水深隨之增高，則水流推移力亦漸次增大，渠

道斷面之邊坡或渠底，漸被侵蝕；原為直線之邊坡，逐漸彎曲，成為近似拋物線型之曲線。在此斷面形狀逐漸改變之中，水流推移力作用於潤周上各點，可能因該點之抗移力不能勝過推移力而遭沖刷；或因某點在過飽和狀態下，四周外力改變，不能



繼續保持平衡，此種改變，減低其抗移力強度，而導致冲刷者。因以上兩種原因而起之冲刷現象，普通多發生在邊坡之上。

3.2 由上所述，吾人可設想一理想情形：若一渠道斷面上，土壤顆粒均保持其穩定，同時各點之土壤抗移力等於該點相應之水流推移力，則渠道即呈平衡狀態矣。

今試在一平衡渠道上，取土粒一顆，覺察其構平衡條件之諸外力，而求該斷面形狀之曲線方程式。

設O點為斷面潤周上任意一點 [圖(2)]。該處之土粒在水中之自重為W，水流推移力為T，沙土抗移力為F；根據靜力學之平衡定律，求取沙粒在該點切線平衡條件：O點沙粒在切線方向之自重為 $W \sin \alpha$ (α 為該點切線與水平方向所夾之角度)， T 為該點於橫斷面之水流推移力向量相加之合力，必須與抗移力F相等，即

$$(W \sin \alpha)^2 + T^2 = F^2$$

今假定潤周上各點之水流推移力與水深之一次方成正比， $T = Kt$, K 為常數，(2.1節)，則上式為

$$(W \sin \alpha)^2 + (Kt)^2 = F^2$$

$$\text{或} \quad (Kt)^2 = F^2 - (W \sin \alpha)^2 \quad (6)$$

在最大水深 t_0 處， $\alpha = 0$ ，代入(6)，得

$$Kt_0 = F \quad (7)$$

在渠邊水深 $t = 0$ 處， $\alpha = \theta$ (θ 為渠道斷面曲線與水面交點之切線，與水面方向所夾之角度) 代入(6)得

$$W \sin \theta = F \quad \text{或} \quad \sin \theta = \frac{F}{W} \quad (8)$$

以(6)除(7)，可得

$$\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 = \frac{F^2 - (W \sin \alpha)^2}{F^2} = \frac{\left(\frac{F}{W}\right)^2 - \sin^2 \alpha}{\left(\frac{F}{W}\right)^2} \quad (9)$$

$$\text{以(8)代入(9):} \quad \left(\frac{t}{t_0}\right)^2 = \frac{\sin^2 \theta - \sin^2 \alpha}{\sin^2 \theta}$$

$$\text{則} \quad \sin \alpha = \sin \theta \sqrt{1 - \left(\frac{t}{t_0}\right)^2} \quad (10)$$

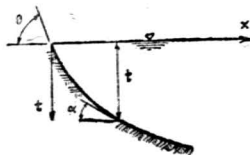
$$\text{或} \quad \frac{t}{t_0} = \sqrt{\frac{\sin^2 \theta - \sin^2 \alpha}{\sin^2 \theta}} \quad (11)$$

(11)式必須滿足邊界條件：當 $\alpha = \theta$ ， $\frac{t}{t_0} = 0$ ；當 $\alpha = 0$

$\frac{t}{t_0} = 1$ 。在斷面上任意一點，得下列關係。

$$\tan \alpha = \frac{dt}{dx}$$

$$\frac{dt}{dx} = \tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \quad (12)$$



圖(3)

以(10)代λ(12)，積分之，得

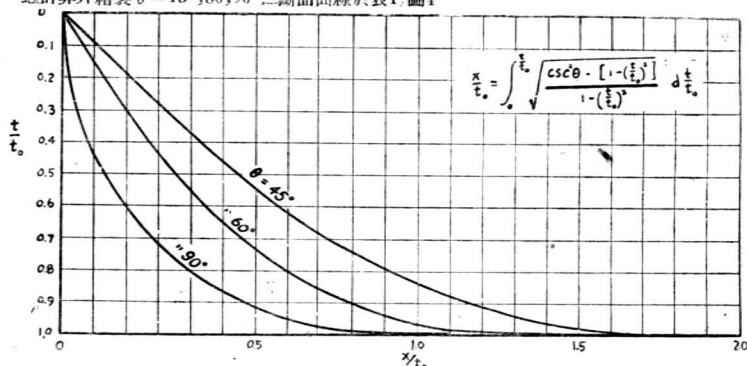
$$\int_0^{\frac{x}{t_0}} \frac{dx}{t} = \int_0^{\frac{t}{t_0}} \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \left[1 - \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 \right]}}{\sin^2 \theta \left[1 - \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 \right]} d \frac{t}{t_0} \quad (13)$$

或

$$\frac{x}{t_0} = \int_0^{\frac{t}{t_0}} \frac{\csc^2 \theta - \left[1 - \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 \right]}{1 - \left(\frac{t}{t_0} \right)^2} d \frac{t}{t_0} \quad (14)$$

(13)，(14)式中之 $\frac{t}{t_0}$ 為渠內某點水深與最大水深之比，故曲線形狀之為平坦抑陡直，當視 θ 角而決定。此角可謂沙土抗移力之表現。

茲計算并繪製 $\theta = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 三斷面曲線於表1圖4



圖(4) 平衡渠道橫斷面形狀曲線圖

表 1

$\frac{t}{t_0}$	$\frac{x}{t_0}, \theta = 45^\circ$ 時	$\frac{x}{t_0}, \theta = 60^\circ$ 時	$\frac{x}{t_0}, \theta = 90^\circ$ 時
0	0	0	0
0.1	0.10	0.058	0.005
0.2	0.20	0.12	0.015
0.3	0.31	0.19	0.040
0.4	0.42	0.26	0.077
0.5	0.54	0.34	0.127
0.6	0.67	0.43	0.193
0.7	0.83	0.55	0.28
0.8	1.02	0.69	0.39
0.9	1.27	0.89	0.56
0.92	1.34	0.94	0.61
0.94	1.41	1.00	0.66
0.96	1.51	1.08	0.72
0.98	1.62	1.18	0.80

關於公式(14)之應用，

詳本文「結論」中

四、實測斷面與 理論斷面形 式之比較

作者於34年冬，於川西涪
江沿岸諸灌溉渠測量渠道斷面
，精與理論曲線比較。

4.1 渠道土質情形 川西
土質，未有詳盡分析。惟據四
川省水利局在三台試驗稻田需
水量時，粗分該區田畝之土壤
情形如下：

名稱	土質情形
黃泥田	最厚 普通
黃泥夾沙田	泥質純粹，泥質甚厚。 泥厚40cm，下層含有沙質
潮泥田	泥中夾沙約7.5%，厚80cm。下層為砂
泥夾沙田	泥厚80cm，下層為砂
沙田	泥中夾沙約20%，厚60cm，下為漏沙 泥75%至50%，砂25%至50%，厚60cm，下層為砂礫

至於其土質之分布情形，民32年，三台縣之鄭澤澗橋子園壩各支渠田畝土質調查結果，估計全壩之7440市畝，各種土質所佔之百分比如下表：

土質名稱	約佔畝數	百分比
黃泥田	2200	29.6%
黃泥夾沙田	1840	24.8
潮泥田	1310	17.6
泥夾沙田	925	12.4
砂田	1140	13.4

據實際觀察，渠道亦以黃泥土及黃泥夾沙土較多。

4.2 實測斷面形狀與水流推移力數值
所選之諸實測斷面，以富有代表者為準，斷面多在平直段上，且達成趨於穩定狀態者。今列表計算如表2。

表2. 實測斷面水流推移力之計算

編號	施測地點 距渠口 km.	斷面 面積 m ² .	潤 周 m	水霧半徑 m	比—降	水流推移力 τ , m = γRS g/m ²	自原設計 長度計算 之推移力 g/m ²	θ 近似值	
龍西渠	1	13	4.4	6.4	0.69	1:2000	350	358	60°
	2	13附近	4.9	6.2	0.79	1:2000	390	358	45°
	3	12	7.3	8.2	0.89	1:5000	198	146	45°
	4	11	5.2	7.1	0.732	1:5000	146	174	45°
	5	19	2.9	4.8	0.605	1:1000	605	496	90°
天星渠	1	14.5	2.1	4.0	0.525	1:2000	263	260	左90°右60°
	2		2.15	4.1	0.525	1:2000	263	260	60°
鄭澤壩	1	23.5	3.4	5.2	0.65	1:2000	325		60°
	2	28至29間	4.5	5.65	0.795	1:2000	398		60°
	3	28至29間	4.75	5.8	0.82	1:2000	410		60°
	4	29至30間	3.98	5.2	0.766	1:2000	383		60°

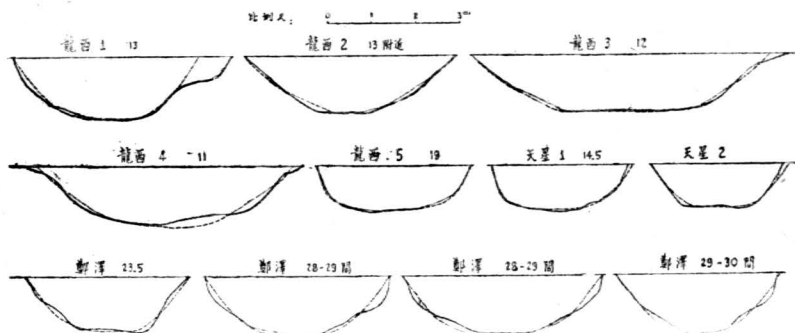
自表2計算之推移力以及相應斷面形狀之 θ 角，吾人可納歸如下：

比較實測断面與理論公式曲線，結果大致相符，見圖5，圖中實線表示實測断面，虛線表示理論断面曲線。

比較之結果顯示：由於受各種水流推移力作用之結果所呈之断面形狀，符合以 θ 為函數之理論公式曲線。

一般說來：平衡渠道之土質含砂少於7.5%者之臨界抗移，約為 400g/m^2 ，冲刷結果，達於平衡狀態之邊坡 θ 角近於 60° 。

推移力 τ g/m^2	θ 角近值似
150~200	45°
250~400	60°
500~600	90°



圖(5)實測断面與理論平衡渠道曲線之比較

註：虛線表示理論曲線實線表示實測曲線

五、結 論

本文討論，限於清水渠道，至於含沙水流渠道平衡之條件何如，非本文考慮所及。

讀者須特別注意者，前文中公式(14)並非一可以單獨存在之平衡渠道之條件。蓋此式僅表示潤周各點之橫坡，而未確定渠道断面之大小，且若以 $\frac{1}{t_c} = 1$ 之值代入此式，則 x/t_c 將為無窮大，

故實際上渠道中央之水深僅能接近於 t_c ，而不能等於 t_c ，亦即渠寬與渠深之比率如何，本式亦不能說明。在實際應用上，欲選擇一平衡清水渠道断面形狀，須將公式(14)與其他諸基本條件配合應用。設計時所須引用之條件如下：

$$\theta = \sin^{-1} \frac{F}{W} \quad (15)$$

$$\frac{x}{t_0} = \int_0^{\frac{t}{t_0}} \sqrt{\frac{\csc^2 \theta - [1 - (\frac{t}{t_0})^2]}{1 - (\frac{t}{t_0})^2}} d\frac{t}{t_0} \quad (16) \text{ (即式(14))}$$

$$Q = AV = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A = \frac{S^{1/2}}{n} \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} \quad (17)$$

$$F = kt_0 = \frac{P\gamma_0 RSt_0}{\int_0^P t dp} \quad (18)$$

泥沙抗移力之 F 值經試驗確定後，根據公式(15)(16)即可算出渠道潤周上各點之理論橫坡復根據(17)，(18)而決定渠道之寬度深度及斷面面積。在以上四式中，僅 θ ， t_0 ， A ， P 為未知數，餘皆為已知或為此四未知數之函數。 θ 可由式(15)直接算出，其餘三未知數自可由(16)，(17)，(18)三公式確定。計算時以採用雙重試求法先假定 t_0 之值為宜。

上述四式缺一，即不能滿足平衡渠道之要求。

沙上之抗移力，包括摩阻力與粘滯力，二者比例如何，對於安全角 θ 之決定，極有關係， $\sin \theta = \frac{F}{W}$ ，由Krey氏式計算無粘滯性之0.25mm沙粒之抗移力，僅達303m/m²，而一般沙土抗移力，遠大於此數，故沙上之粘滯力，雖在水中，仍不能漠視者。

本文理論，係基於譚葆泰教授所示之概念；全文并得張瑞瑾先生指導，謹此聲明並表感謝。

華北平原的生成 (1)

丁 麟 (2)

結 言 (2)

所謂華北平原，是泛指東經114度與海岸線，北緯32至40度所範圍的地區。除了沿黃河之外其餘地方大都以申報館圖上50公尺等高線為平原的內緣，總面積由求積儀求得平均為295,000方公里。

關於這平原的造成史，過去知道的很有限。本文由各種方面，設法追尋它過去的歷史，這不外乎由下列幾方面着手：

1. 由地形的研究，判斷黃土期後的海岸線及若干地形。由之推測平原造成的歷史。
2. 由歷史的記載找出海岸線變遷的情形。
3. 由已知的含沙量估計平原生長的經過，及可能已被蝕去的黃土數量。
4. 由深井及文化之遺跡或化石去推測平原加積之速度或年代。

爲了便於敘述，我們可把華北平原及黃河流域分爲下面數區：(圖一)

- | | | |
|---------------------------|-----------|---|
| 1. 黃河北面平原 | 面積 | 108,500方公里 |
| 2. 山東中部平原 | 面積 | 17,700方公里 |
| 3. 黃河南部平原 | 面積 | 55,500方公里 |
| 4. 河北平原 | 面積 | 61,100方公里 |
| (甲) 華北低平原 | 面積 | 36,100方公里 |
| (乙) 華北高平原 (在五十公尺以上二百公尺以下) | 面積 | 25,000方公里 |
| 5. 黃泛區 (即淮河上游) | 面積 | 46,700方公里 |
| (甲) 黃河古三角扇 | 面積 | 12,300方公里 |
| (乙) 淮河流域 | 面積 | 34,400方公里 |
| 6. 受黃河及海河影響的渤海 | 面積 | 38,300方公里 |
| 受樂河影響的面積 | 10,000方公里 | 總面積爲48,300方公里，如按深度計算則水深20公尺以上的面積有20,800方公里。水深20至40公尺的面積有17,500方公里 |

本文所指的華北平原，若狹義看來僅僅包容上列的1,2,4甲，三區，只有161,600方公里。

如果連4乙也包括在內就有186,600方公里。大約這平原是由1900 A.D. 以前七千四百年時開始生長

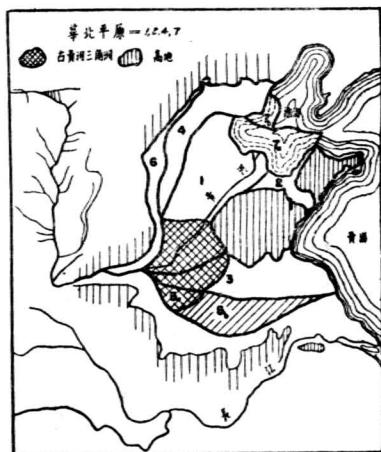


圖 1

(1) 本文爲作者由英文原稿節譯出來，細節刪減甚多。如有意義欠明的地方請見示，當函釋。

(2) 中央大學地質系教授

(紀元前5500)，在新石器時代開始，紀元前 2300 年時已大半完成。換句話說三千二百年間造成了一半。

Wurm冰期以後的海平面變遷

Wurm 冰期以後的歷史由表二就可知道。表上所示的是比國歷。瑞典歷的冰期完成的時候較比國曆為遲。自然比國曆比較接近中國情形。

(表二)

1900年前年數	期名	氣候狀況	文化時代	海面(今日為○) (+)海面升起 (-)海面降底
0—2600	亞大西洋期	涼 濕	鐵器時代	(-) 16公尺
2600—4200	亞極期	夏 暖	青銅時代	(+) 3—4公尺
4200—7400	大西洋期 (Atlantic)	暖, 濕	{新石器時代 原新石器時代	(+) 6—8公尺
				(-) 10公尺
7400—9400	極期 (Boreal)	大陸性, 乾	中石器時代?	(+) 15—20公尺
9400—?	冰前期 (Arctic)	冰 冷		(-) 30公尺
	Wurm冰期			
	R-w間冰期			(+) 15—20公尺
	Riss冰期			(-) 80公尺

由上表可見 歐洲 Wurm 冰期後最高海面達到高出今日三十公尺的地位，最低曾下降到低於今日十公尺的地位。在新石器時代又有一次上升。到八公尺左右。

後有冰期的地方如地中海，亞極期時海面有三到四公尺的上升痕跡，亞洲方面，印尼羣島中R-W間冰期海面高升十五公尺Riss冰期低到六十公尺，這類的證據甚多。世界各處都有，中國不能例外。

日本地方的周口店期(間冰期堆積)上面有冰期，據說是 Wurm 期(鹽原化石) Wurm 期以後海面上升10—30公尺。有珊瑚礁謂之館山 Tateyama 期。不過馬廷英的意見認為後者是R-W間冰期。

中國沿海，海濱線上證據甚多列舉如下：—

1. 大連，遼東半島 有海中貝殼層成為台地
2. 山東 貝殼層(+) 20公尺，張家北40公尺，濟南附近，貝殼層。
3. 河北 三河縣的泥炭層，馬谷山上的海穴，昌黎臨河崖的洞穴。
4. 江蘇 鎮江台地(40公尺)揚子江20公尺台地，玄武岩所掩的100公尺台地，江都縣東的泥炭(拔海5公尺)，清江浦6公尺海中化石台地。
5. 浙江 100—200公尺台地，80公尺岩石台地，20—30層地及崖錐台地。
6. 台灣 30—40公尺，珊瑚礁台地，100公尺地。
7. 福建 介殼層(6至14公尺)，岩石台地。
8. 廣東 香港15公尺，黃浦22—23，42—43公尺台地，廣州32公尺台地，雷州半島70公尺台地。

以上表示過去海面上升所到之高度有100, 80, 70, 60, 42—43, 40, 32, 30, 20, 16, 6 等公尺。

有些貝殼層雖不一定表示海的位置，但可表示新石器時代人的居地。這些貝殼堆似與歐洲的 KitchenMaidens 相同，而且吃的是一種生物。大約 6—14 公尺的海是大西洋期。以上的高海面大約是早第四紀。100 公尺的海或許是上所統的。黃土生成的時間相當是 80 公尺以下 14 公尺以上的一個海面。海濱線下移的證據中國沿岸也很清楚。目前的中國沿海尚是下溺的狀態上所統的陸地被海沉沒約為 500 公尺。今日的海上所統未淹沒的陸地尚高 100 公尺。尚有其他證據證明陸地比較下沉的現象：

- 甲 渤海最深不過 64 公尺，遼東山東二半島之間，只有 60—70 公尺渤海灣距海岸 240 公里，也不過只有 20 公尺深。
- 乙 天津深井紀錄（註 1）表示在比今日海面上下 4 公尺的地位為昔日的海相堆積。裏面有 Arca 的化石及貝殼。以上却完全是陸相淡水沉積，深達 169 公尺。
- 丙 北平井口紀錄已知有 200 公尺深的沖積層。有一井據說有五百公尺深，但未得其詳。最深的井打到的不是蓮蒂紀的紅土。
- 丁 上海的井口紀錄有 300 公尺的海相堆積。比今日低的海岸有八次之多。
- 戊 南京井口紀錄示下蜀系沉積在今日海面下 35 公尺。這是 Wurm 冰期的海面位置。
- 己 台灣海峽最高的底大約在 23 公尺地位。在 Wurm 冰期時台灣與中國相連。
- 庚 廣東大陸台地在濱南島雷州之間深 88 尺。在 Riss 冰期可能為陸。

由以上的記載我們知道 Wurm 冰期的海面比今日只低三四十公尺。故華北平原必須一面下沉一面填塞；不然的話不可能堆那麼厚的沖積層。天津附近的海中堆積必是近代的。表示沉積填塞海被排擠外移。在黃土堆積的時候（Wurm Max）華北平原尚不存在或只有極小部份。北平打倒上所統地層的井是在我們所說的第 4 甲區高平原上打的。表示至少由上所統以來那兒推了 150 公尺厚。但不知有多少是黃土有多少是沖積。

黃河流域的平原加積

一、海底填高現象

1. 歷史

由圖上我們可以看到在平原上，有許多的沼澤。天津以西的距海一百公里。山東河北之間沿著黃河也有許多，表示其為昔日的港灣或鹽澤。由天津東北的河流成輻射狀，漯河下游的小河也各成輻射狀，我們知道至少這兩部份是近代生長的三角洲。兩個三角洲的面積相等而兩河的含沙量相差很多，所以不能不說黃河在天津以下的三角洲生成年代比漯河更新。如果我們把黃河三角洲拿去。我們拿去了至少 50 公里寬度多則 80 公里寬面積 4,000 方公里的地。這一塊地假定是堆在一水深只有 10 公尺的海底下，就有四百萬萬立方公尺（ $4 \times 10^{13} m^3$ ）的泥沙。

拿黃河的過去所流過的區區來說北至天津南到利津（1）這種移動大約分爲四區：

1. 2278—602 B. C. 黃河東北流，時間 1676 年
2. 601—11 A. D. 黃河由濱洲方面入海，時間共 612 年
3. 12—1048 A. D. 黃河分兩道流。北道大致與第一期相同，南道向北移動約七十公里。時間 1026 年
4. 1049—1194 ——— 四十五年內黃河又移入南道。另有一支南入淮河流域

在這四次的移徙之中，時間共計 3472 年，黃河修築了今日在開封海口之間的大扇，南面比較低

（1）所謂北至天津是照一般的說法，假定南岸位置與今日無異，海面也沒有變動。事實上以後便知最早的黃河在滄洲以西就入海了。

的淮河流域遂成爲浸漚的對象所以在 1495—1855，三百六十年中一直在南面流

2. 沖積的容積、面積及堆積率

中央水學實驗處費了許多工夫給出計算切面運遷一段“黃河扇”(1)由淮河到淮河，這條切面顯示黃河沖積是一塊比淮河高在 20—30 公尺的堤岸式堆積。這堆積大致是秦漢以前爲主的產物。因爲秦漢以來就有河工，堤防足以使沉積減小，沙碛被冲刷。所以嚴格算來只有 2200 年的時間，是已知的黃河自由堆積時期，寬一點說可以認爲漢以後多少有是沉積。不過其中還要上在 601 B.C 以後紀元前那段時間，黃河並沒有在河道中流，那面的沉積勢必有一部份是海河流域的水流所堆積，可是海河流域的流量我們知道遠不如黃河，所以它們的堆積也很有限。

在另一方面說淮河也在加積，可是淮河的加積量微微不足道。在八公山鑿井記錄只有 10—50 公尺的沖積，那應該代表自有淮河以來的堆積了。而淮河的年代久遠每年加積如果我們說淮河在這些年間也加積 320 公尺，則黃河所堆的東西就至少有 40 至 50 公尺厚了。

上述黃河流動的面積總計在北面移動的部份(即由 1 至 4 次的道徙範圍)爲 104,500 方公里。

(其中已除去近代三角洲 400 公里) 黃河在開封高出淮河 30 公尺，但平均高約 20 公尺則由原新石器時代起距(今日 7438 年)堆積 $33,210 \times 10^{13}$ 立方公尺。每年平均加積約 28×10^8 立方公尺這是比較保守的數字。如果除去紀元後的年代不計，則每年平均加積爲 3.8×10^8 立方公尺。我們目前暫以 3×10^8 立方公尺爲準。

如果利用這數字計算在一定面積內每年黃河加高量，我們得到 0.7 公分至 0.9 公分。以此回頭過來計算黃河在距今 7400—4200 年(即原石器時代到新石器時代)黃河應加高多少則 52 公尺多則 67 公尺。把所加高的高度由現在高度減去，我們就得到圖二的海岸線。當時海岸在開封下游。開封的海面比今日高 7—8 公尺。(2)

在大西洋期之末陸地已比海高 26—34 公尺。

3. 海岸線的延伸率

由上面的分析，我們曉得黃河扇乃是新石器時代之時所完成的大半，後來由於海面低降沉積加高到現在的形狀。所加的高原很少，但海岸延伸却由那時開始而日見顯著。

在新石器時代之時(4200 年前)，海岸線在今黃河上面，濠口附近，距海 172 公里。在 7400 年前，海岸在黑崗渡口。所以 7400 年時平原黃河根本尚不存在。

以濠口到今日海岸直線距離爲 172 公里計，由 4200 年到今日，每年延伸約爲 41 公尺。即以此推算黃河今日三角洲(約八十公里長)，其生成年代應有 1950 年左右。由歷史我們曉得下列各時黃河可以在今日三角洲處沉積：—

- | | |
|-------------------|----------|
| (1) 由 12—1648 年 | 共 1036 年 |
| (2) 由 1049—1195 年 | 共 146 年 |
| (3) 由 1196—1494 年 | 共 298 年 |
| (4) 由 1856—1938 年 | 共 82 年 |

總共 1562 年

(1) 黃河的切面 (cs) 長 160 公里。在 30 公尺高的一段面積爲 $3,240,000$ 方公尺。每公里寬，容積爲 324×10^7 立方公尺。古代黃河扇只有 53200 方公里，故在 30 公尺高度內總沉積量爲 $17240 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。20 公尺內只有 $11500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其沉積年代共爲 3590 年。大致每年沉積爲 $4.8 \times 10^8 - 3 \times 10^8 \text{ m}^3$

黃河扇的頂端在 7400 年海岸之西約 100 公里這一段乃是 7400 以前的黃河那時候海面較高大約當時的高度成爲拔海 33—48 公尺。而此 33—48 公尺的堆積乃是 7400 年以前的沖積。其面積爲 7500 方公里，容積 $1510 \times 10^8 \text{ m}^3$ 按照每年 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 堆積率，所需時間爲 510 年。因此我們可以認爲地形開始造的時候約距今 7900 年左右，在冰期中 (Boreal)

(2) 本問題牽連，因爲陸地還有下沉的關係，所以河北地方有些地點按計算應該低於當日的海面圖上畫爲陸地。

在1495—1855年359年中黃河不在三角洲處流，故即有沉積乃屬海浪沉積或其他小支流的沖積。而海浪沉積大致為河堆積率 $\frac{2}{3}$ ，故三角洲實際堆積的平代有 $1564 + \frac{359}{5} \times 2 = 1707$ 三年由此推知三角洲生成時代為紀元後231年時開始。

不過我們上面未考慮三角洲生長率的本身是不均勻的。海岸延伸愈多，水愈深，面積愈廣而需要的堆積物越多。如果含沙量固定則只有延伸率逐漸減小的。因此由1707年數字計算八十公里的延伸應為每年46公尺。實際的初期延伸率必高於此數。而宛近的延伸率恐遠不及此數。

以前也有人估計過海岸延伸率的。據翁文灝先生的研究 Elias 地圖（1863年）上鐵門關靠海很近量圖得 36—46公里。沿河量得 56公里。翁氏就後面的數字算出延伸率為（1）四十八年內延伸 22公里即每年延伸 304公尺。不過我們應當用直線距離計算。若以36公里計，每年延伸應在五百公尺左右，未免太大。翁氏又據 1735年 Anville 的地圖，算出海岸在61年中延伸凡十九公里，每年延伸三百公尺。

由他的推算這三角洲的生長年紀不過230年。海岸在1708年時在鹽窩，在1770年時在鐵門關。可是翁氏沒有考慮到在1495—1855年中黃河並沒有在那裏流，所以鹽窩到鐵門關一段，如果是那時推的話，絕不是黃河堆的。所以既然1735年圖上有了那些地點，那海岸延伸乃是宋朝的黃河負責的。

在歷史的記載中也有不少資料，據得的節錄如下：

1. 秦築牛童城。以備童男女入海求仙的住所城。在今童村附近。距海90公里。秦時為紀元前220年，黃河負責的時間不過1796年，每年延伸50公尺。
2. 蒲台在秦時叫做區沃。志記說是區沃地區沃沼井不在蒲台。據 Pumpelly 計算，每年延伸率為33公尺（—220至1730）。實際上黃河負責的年代只得1714年，所以延伸率應為每年37公尺。
3. 元和志記海在蒲台西140 舊華里見有沙岸高出海面一丈，高潮不能沒，圍着一個湖叫做闕口淀。這地點為Pumpelly所說的地點，但距海有65公里。以1040年計，每年延伸約為64公尺。
4. 在鹽山附近，海岸在1800年時距海5.6 公里。黃河負責的年代只有八十二年（1856—1938）沉積延伸率約為每年69公尺。
5. 馬谷山在無棣之北60里，為秦時獻河入海的地方以距海90公里計，1796年間每年延伸只得17公尺。
6. 宋時設治的城鎮，元代因循設治，但因“地斥鹵”向內地遷徙的很多。元時河已南徙，所以又在鹽澤上面爭了不少的地。
 - （甲）在宋的永利鎮上設利津此地秦時尚為沿澤。
 - （乙）窩子口改為靜海 在1193年時距海75.2公里與今日無異。
 - （丙）646年時濱州在今濱州的東面。到了746年移向內地四十里。因該地“斥鹵”。646年的位置在今日三角洲的邊上。
7. 滄縣是秦時有的，當時距海61公里。今日已有80公里，但沒有更詳細的記載可資計算。只知道那一段海岸延伸乃是華北河流的功勞。
8. 惠民以北有豆子坑616 年時是一沼澤，裏面為海盜所據，當時距海已有19公里，今日距海70公里黃河負責年代為1096年，每年延伸47公尺。

由上面的計算我們平均一下大致黃河延伸海岸的速率為每年48公尺。海浪及其他小河延伸的能力為每年二十公尺。黃河三角洲乃是以後的堆積。

（1）此數翁氏計算有誤，他所計的年代應該只有五十三年（1863—1916.）

4. 海岸延伸的面積

我們由圖二將各時的海岸延伸的面積計算一下如下表

	年 數	平均延伸(公里)	延伸率年/(公尺)	面積(方公里)	沉積厚度
在新石器時代 2100B. C.) 到紀元前220年間	1880	38.3	20.4	35,400	10—25
220B. C. —1000A. D.	1220	21.8	17.9	13,850	5—10
1000—1938	938	20.5	21.6	16,350	0—5
總 計		80.6	60.1	65,600	

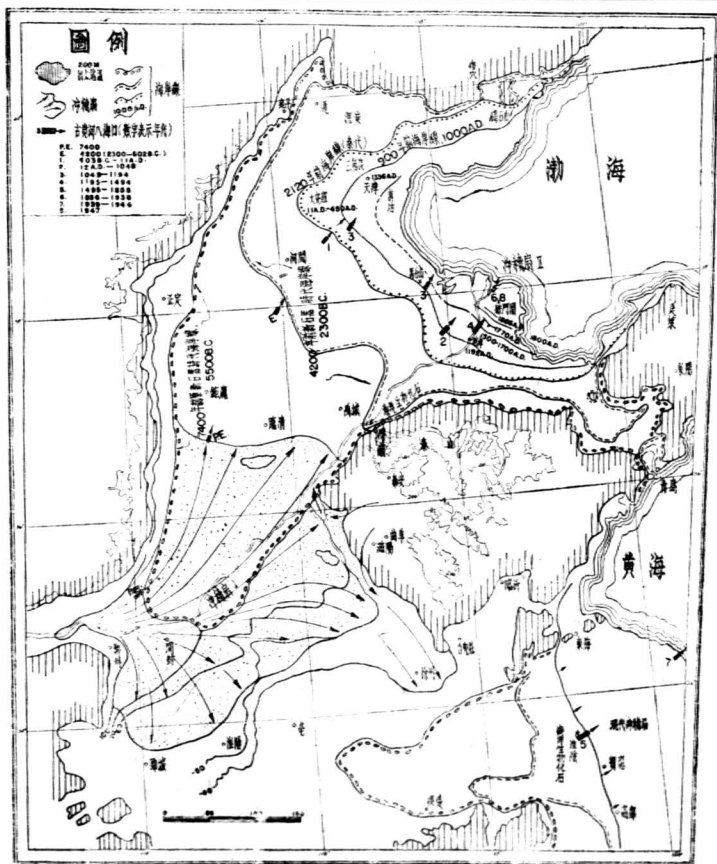


圖 二

設由2100 BC 海岸線到海80公里間爲一平坡。設天津鑿井記錄所示150—169公尺的泥沙爲沖積物的厚度，則各海岸線內今日海平面上沉積的泥沙總積爲 $123 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。海面下169公尺處的體積爲 $3162 \times 10^9 \text{ m}^3$ 總計爲 $3285 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

假定 Eliassen 的估計黃河流量爲12000 秒立方公尺含沙量爲百分之1.5，則沉積所需年代爲10417年。

$$\frac{3285 \times 10^9 \text{ m}^3}{31536000 \times 1200 \times 1.5 \times .0056} = 10417$$

這計算表示沉積物在新石器時代前六千年已經開始。因此這堆積遠在 Warm 冰期時候堆的。而地盤下沉的速率足以使169公尺的泥沙在今日海面之下，這下沉率爲每年15公厘。使我們用以前計算的每年加積率爲 $3 \times 10^9 \text{ m}^3$ 來推算，則沉積 $3285 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的泥沙需時10950年，兩數相差433年。加積率若爲 $3.15 \times 10^9 \text{ m}^3$ 二數即相差甚小。

5. 黃河南部平原

黃河南面的平原面積55500方公里。黃河在襄而流約時候爲1195年到1855年，共計660年，最初300年中，黃河有南北二道，假若黃河含沙量對分，故實際年份只有150年加上後來360年共510年。

黃河扇形地前面已計算爲 $210 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，而黃河扇堆積有一部份屬黃北河面平原，屬於南面平原的只有一小部比例爲二區面積的比，差不多恰好1/2，因此黃河南面平原沉積積積爲 $1050 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。如將此泥沙平鋪在本區面積內，可得二公尺厚的一層即510年中每年約加積3.9公厘。以此數值計算由7400年到1938，應加積厚度爲29公尺。將此數由本區減去，大致即求將7400年的海岸線的位置。

河北平原的歷史

1. 亞極期以前 河北平原有多數河流，最主要的爲灤河，海河水系，衛運河等這些平原可分爲二帶。內帶在五十公尺以上的面積25000方公里大致爲一老平原。外部平原低於五十公尺面積36100方公里總計61100方公里。

冰期的時間本平原尚不存在。理由如下：

- (1) 若將黃河扇在冰期後加積的52—67公尺一部除去，則大部平原部將設於水中
- (2) 北平天津的井口記錄古代地面深入海中169—200公尺無論如何在冰期時也不會爲陸地。
- (3) 在Warm的時候海面低降不過三十公尺。海岸線大致與新石器時代的海岸線相若，也許還有向內陸一些。這一點也是黃土不入山東範圍的原故
- (4) 新石器時代的海比今日高三公尺，即可淹沒今日大部份的華北平原了，普通可用二十公尺等高線爲新石器時代的海岸線，三河縣的泥炭可爲佐證，因此我們說冰期時此平原不存在。
- (5) 在4200年時（大致爲禹的時候），中國有洪水傳說，禹的治河，趕走了南方動物羣大概是由大西洋湖進入亞極期的自然現象。
- (6) 我們研究殷人遷徙的路線，就發現他們由東北渡海入山東，沿山東河南的到安陽。並沒有到華北平原，因爲那時候那裏是一沼澤之地。安陽的位

置恰在老年原上。

2. 天津在亞大西洋期的情形。

由2600年起(紀元前700年)華北平原大部都在加積之中。最主要的是黃河那時由滄州東北入海。史上記載“河自章武入海”章武就是漢時的滄州地方。即文安窪附近為海口這說紀載說明黃河并不曾在漢以前流過天津。

滄洲現在却距海80公里。而黃河在或經過這兒入海的時間共有兩次。一次在11, A. D. - 1048; 一次在1049到1194共計1182年。以後黃河離開這地方, 又由隸沱河代理職務流了744年。隸沱河的能力大約為黃河 $\frac{1}{2}$ 。因此總共沉積年代只有1430年。每年延伸56公尺。

在1049—1194年間, 黃河在天津附近入海。那地方叫做濁流東岩, 今日稱為濁流口。此地距大沽口56公里, 黃河壟積3393, 每年差不多延伸150公尺。由滄縣到濁流口黃河的每年58公尺的速度延伸出去。

1194年以後黃河永遠放棄了這塊地。延伸的力量完全是河北水系的。天津在當時不過是一片原隰, 元時(1336年)設海津鎮, 今日距大沽口50公里。這就是說由1194到1336, 172年之間, 那一塊平隰, 已可居住而且發生市鎮。海岸延伸至少6公里, 每年也有34公尺。1350年以後天津西面的平原有了隄防, 到了1404—1406年間, 天津設衛。

明朝的時候1573—1619年間, 海岸在葛沽。距今日大沽, 18公里。故由1048到1619五百七十一年間海岸延伸38公里每年延伸67公尺。Pumpelly 根據鹹水沽(距天津21公里距葛沽10公里)的位置計算 500—1866年海岸每年延伸27公尺。他的計算有差誤因為 1866年時海岸已經到達大沽口了。

1619年以後三角淀築堤。據 Elissen 的估計三百淀面積 600方公里, 向東傾斜 $\frac{1}{3000}$ 。這一塊地又名永定河三角洲。裏面二百年間堆了 $24 \times 10^8 \text{cm}^3$ 的泥沙, 大約每年堆下 $12 \times 10^6 \text{cm}^3$, 等於將2.5方公里的面積每年加積五公尺。大量的泥沙到天津以下。在1619年以後天津下游在119年中間堆了十八公里每年延伸率增加到150公尺。

3. 渤海。

渤海灣很淺, 由海水運行的方向觀察受黃河及河北諸河影響的範圍約有48300方公里。半在20公尺深, 半在20—40公尺之間。

在大沽口地方渤海堆積謂之大沽沙。這沙洲由1858到1930延伸了3882公尺, 每年生長54公尺。南北7公里, 東西3.9公里, 面積約為27.3方公里, 到20公尺深, 所堆泥沙有 $546 \times 10^9 \text{m}^3$, 每年堆積(1858—1930) $7.6 \times 10^9 \text{m}^3$ 約為黃河 $\frac{1}{37}$ 。這沉積每年增加海底2.6公分或每千年加積26公尺。

黃土蝕去量

估計黃土蝕去量的根據如下：—

1. 黃河延伸率為 $3 \times 10^8 \text{m}^3$, 每年48公尺。
 2. 河北河流延伸率及海岸沉積總計每年54公尺。
 3. 已計出80公尺寬, 150—169公尺深的華北平原沉積物為 $3285 \times 10^9 \text{m}^3$
 4. 受河流影響因為可能加積的渤海距岸200公里海底由海面向外傾斜到40公尺, 假定海底沉體厚為170公尺。
 5. 渤海沉積面積為48300方公里, 其中沉積物的懸積即為 $6.33 \times 10^{10} \text{m}^3$
- 將渤海及平原的沉積用 η 總計為 $106150 \times 10^9 \text{m}^3$ 依據黃河延伸率, 需時35383年。

華 9

今日在黃河流域的黃土面積據中央地質調查所估計為434000方公里。以平均30公尺厚計，體積為 $13 \times 10^{18} \text{m}^3$ 。在非黃河流域的，我們有關的額積，據 Eliassen 估計為21000方公里，平均以10公尺計為 $0.21 \times 10^{18} \text{m}^3$ 。黃土總量 $1321 \times 10^{18} \text{m}^3$ 。

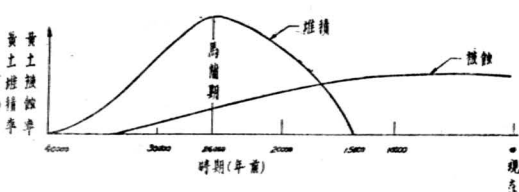
平原堆積泥沙的總量為 $1061.5 \times 10^{18} \text{m}^3$ 。據翁文灝估計認為90%為黃土沖刷所致。則黃土總容積應為。

$$1321 \times 10^{18} \text{m}^3 + \frac{9}{10} 1061.5 \times 10^{18} \text{m}^3 = 2276 \times 10^{18} \text{m}^3$$

黃土堆積最初的沖刷相當多，後來逐漸減少，到黃土極感時期最少。以後又逐漸加多。但河流的含量則可能最初少，逐漸加多，過了黃土最感期又減小。

黃土極感期距今26000年，黃土最初開始堆積的時候在距今40000年，以上。今作一曲線表黃土被蝕的現象(圖三)

曲線26000年處為堆積的頂點，黃土現存與被蝕去之比為13:12



(圖三)

節 要

- 26000年到7900 Wurm 冰期時，海面高於今日30公尺黃土沉積。華北平原為一海灣。其中正在加積
- 900—7400 在中石器時期的末了，黃河在開封開始建築一沖積扇。向東傾斜。受阻於山東地地(當時為一海島)扇的頂端當時在平漢鐵橋以西，拔出當時海面約為16公尺
- 7400—4220 海水退却到了低於今日10公尺的地位。又上昇高出今日3公尺逐漸增高到6—8公尺。扇形地已大形成。前端已接連山東使之成為半島。山東地塊流下的河灣扇所限，而分道南北流。黃河向北方流
- 4200年 殷商的時候海岸在開封的東北約350公里，文安西60公里，在黃河上的壟口。碣石山成一陸繁島。
- 秦以前利津 扇形地上有共流作用。扇形地兩側為沼澤，氣候屬熱帶，有森林，象類。
- 4200—212 西30或40公里地方為當時海岸，海面高出今日約3至4公尺，氣候較寒夏暖冬冷而乾。周室東遷夫成入寇
- 900前(1000 A. D.) 秦朝的時候，海岸已有史實可覓。黃河口在滄州，大致沿津沱河流。天津之西文安窪以東，
- 900前(1000 A. D.) 海岸在利津附近天津之西，文安莊以東，及碣石山以南。扇形地南面發生平行。軀材水系統入南面的東河。北面則為黃河本身的流落。
- 900—0 由900前到現在黃河及濼河各完成了一個三角洲。華北平原生成今日的樣子。黃河南徙。

(附錄) 井口記錄(以公尺計)

上海井口記錄		天津井口記錄	
0.5—2	近代陸上沉積	0—1.5	淡水沉積
5.2—54	第一次海濱線	1.5—4	海相沼澤沉積
54—82	„二次,,,,,,	——	今日海面
82—156	„三次,,,,,,	4—4.5	沼澤沉積
156—219	„四次,,,,,,	4—7	Area 粘土
219—250	„五次,,,,,,	7—116	Oyster 粘土
250—300	第六,七,八次海濱線	8—116	淺水沉積
		116—169	淺水沉積

黃河沙量質疑

張含英⁽¹⁾

黃河之大患爲泥沙，故古人以「海晏河清」爲和平之象徵，「正本清源」喻治事之決心，而黃河論者，亦無不言其「善淤善決」。淤與決幾不可分，因善淤故善決。是以治理河患，除需控制其洪水外，必須管制其泥沙，否則控制洪水之工，不久輒仍失效。

黃河攜大量泥沙，尤以洪水時期爲甚。洪水時期，河水溢出正槽，漫流於兩堤間之河灘，因水流速率減緩，泥沙乃逐漸淤澱，淤澱漸多，河床日高，容量漸小，年復一年，迄無停息，歷時既久，遂演成地上河道之形勢。苟欲保持容量不變，使能長久容洩同量水流，勢必隨時加培兩岸堤身。惟是堤身加高，河身隨之，河益仰，堤愈高，堤愈高，河益仰，於是遂有所謂「黃河水行天上」之說。偶遇潰決，則建瓴而下，一去不返，勢使然也，無足怪焉。

河身泥沙鬆動，易沖易積，於是河槽不定，忽左忽右。黃河無正式河槽，尤無正式深水槽，故不通航，雖艤船行駛，亦感不便。蓋以河槽善變，朝夕不同，河岸易塌，難立足故也。河槽既遷徙而不常，離堤即忽遠而忽近，卒近堤身，防範不及，則崩決堤身，奔騰外流。黃河下游如一長蛇，孟津切警長蛇之尾，河之在孟津不變，猶蛇之釘其尾不動，蛇尾雖不能動，而蛇身恆扭曲輻轉，永無靜止。這身著堤而潰，則昂其首於津沽淮泗之間，而莫知所之矣。

總之，淤之爲害，在於使河身高昂，在於使河槽善變。換言之，即無由保持洩水之路，則必易招致潰決之災。是以治理黃河，不能僅專注意「河」字，尤須特別顧到「黃」字。

黃河下游泥沙之來源，經多年之觀測，已知大部來自綏遠托克托以下，據測算平均年攜沙量來自包頭者，僅當陝縣者百分之十二。就理論推之，亦有相當理由，蓋上游之泥沙，皆淤澱於寧夏及綏遠平原中矣。

黃河設站觀測水流及泥沙者，已有多年歷史，而最完備之資料，則在民國二十三年至二十六年間。其後抗戰軍興，黃河成爲國防最前防線，水文站之觀測，或竟然停頓，或僅記水位，無復昔日之詳密矣。

根據已有記錄推算，陝縣之全年平均含沙量以重量計，約在 2% 至 4% 之間。陝縣最高記錄爲二十三年八月，含沙量達 38.40%（三十一年又有 46% 之記錄），最低者爲 0.3%。

若將含沙量之百分數化爲泥沙之貯積，（黃委會工程師安立森以沙泥之比重爲 1.45 折算），則可求得每秒若干立方公尺泥沙之運行。以之推算，可得黃河每月及全年運輸沙量。今以陝縣爲例，列全年總流量及輸沙量，並計算其百分比如次：

(1) 中央設計局專門委員前黃河水利委員會委員長

年 份	全年總流量(立方公尺)	全年輸沙量(立方公尺)	輸沙量與總流量體積百分比
民國23年	44,306,738,000	949,581,443	2.14 %
民國24年	58,004,000,000	1,272,276,288	2.19 %
民國25年	41,246,098,560	409,127,328	0.99 %
民國26年	72,305,611,000	1,853,629,620	2.56 %

此四年中輸沙量之變化頗大，尤以二十五年為甚，以此表平均計之，每年輸沙總量為11億立方公尺，此即為使河「黃」之主因，亦即為「清源」之目標。

欲享泥沙之管制，不可不先知泥沙之來源，進一步更須明瞭其數量及運行狀況。今之論者，多以黃河泥沙大都來自托克托陝縣間之田野溝溪，至陝縣而集為如此巨大數量，更經陝縣以輸於下游，終經尾閘而入於大海。人之云云，大率如是，然耶否耶？筆者疑焉。為研究尋求管制之方策，並謀清除與利之障礙，則不得不於此點先加辨明。此筆者所以主張對於泥沙之運行，應加重研究試驗之工夫，以求確切之答案，藉為管制之依據也。今願就臆度所及，提供意見，容有未當，或亦為促進研究之一助歟？

黃河之輸沙量，以七，八，九，十，四個月為最多，約佔全年之 80% 至 90%。因各站觀測，多著重於此四個月，故取此以為討論之資。二十三年四月中，秦廠（平漢橋之上游）與高村（冀魯交界）輸沙量之差為 5 億立方公尺。自上表知二十三年之紀錄頗足代表平均之數字。若此差量全淤積於豫省大堤之間，每百年即可淤高 15 公尺。今兩岸大堤已有六百年之久，堤間淤高當可能近於 90 公尺。察其事實，殊有未驗，故此數似覺不可靠。或謂二十三年黃河在高村之上游，亦即高村秦廠間，曾發生決口，致使一切情形均變為複雜，因之推算亦失其準確性。此說亦或有可能。今更以二十四年為例，是年黃河決口在高村之下游，當於高村之上游無若何影響。而四月中陝縣與高村之輸沙量差，仍有 4 億立方公尺之巨，其數實非依然過大。即偶因潰決，致沙流於堤外，堤間之淤高以緩，但揆諸事實，相差仍遠。此可疑者一也。

黃河下游沖積大平原約 250,000 平方公里，為黃河淤澱所成。今以每年輸沙 11 億立方公尺計，平均約二三十年即淤高 1 公尺。天津地面 120 公尺以下已非沖積層，今設大平原平均淤深 60 公尺，更設古今之沖積情形相若，則此平原之造成，僅需一萬三千年，豈為事之可能。此亦可為前節之補充說明。此可疑者二也。

利津（山東河口）於二十三年四個月中之輸沙量為 8 億立方公尺，若此量盡輸諸海，則海洋每年應退出陸地 2.5 公里，亦不近事實。二十四年輸沙量為 3.4 億立方公尺，亦較較高。地質學家稱，渤海岸有向下傾陷之象，當屬可能。但利津為古千乘，亦有史據可考，海退遲速亦可估計。此可疑者三也。

二十三年及二十四年黃河皆有決口，而居於海口附近之利津輸沙量於二年中竟有如此之差別，不無問題。又自上表見二十五年及二十六年陝縣輸沙量亦有甚大差別。良以大水之期，流量及含沙量之觀測極為困難，山洪暴發，更易引起壅流，增加局部之沖刷，旋起旋落。又以船難渡河，採取水樣自益困難。大水時既佔極重要之分量，設觀測稍欠均勻，即足影響全局。此可疑者四也。

黃河最大含沙量達 46%，此為沙重與水重之比。所可注意者，分母為水與沙之和，若沙與水二者之重量單獨相比，又為如何。設在支流或溝渠中，如此高率，自屬可能，今以 20,000 秒

立方公尺之洪流，攜此大量泥沙以俱下，已難置信。此可疑者五也。

是以，若每年有11億立方公尺之泥沙，自田畝溝壑經陝縣而運送於下游，自屬可疑。或曰：此獨不可能乎？曰：察或能之，應分其來源。

設觀測完全準確，陝縣大量之泥沙來源有二：一為田畝溝壑，因雨水逕流沖蝕而來，一為黃河坍塌，因河槽水流局部變化沖蝕而來。筆者雖不敢作定量之臆度，但後者必佔一極大數量，試論之如次：

黃河河槽之變動，實難捉摸，今以潼關為例，二十四年十二月三十日，在海拔321公尺以下之河槽，橫斷面為150平方公尺，其年九月三日，為1200平方公尺，竟寬前者八倍。但水過後旋即淤澱，設無沖積，河槽橫斷面不應有增減也。陝縣河槽較為固定，海拔292公尺以下之橫斷面，亦可增大一倍。他處將河槽沖積深六公尺者，亦不鮮見。此等沖積，僅為局部現象，亦沖積河道之所常有，沖於此者，旋即淤於下游不遠之較靜水流之處。最近更經美國水道試驗所證明，其行程如是。換言之，在沖積河道上，坍塌泥沙之運輸，僅呈局部現象，善以水攜沙力有限，遇緩即停也。故所測之含沙量，必包括一部分局部坍塌泥沙，此其一。

黃河泥沙水樣，多取於河岸附近，大水時，因無法渡河，難及中流。黃河土質既易沖刷，而河槽又不規律，最能促使水流紊亂，因而大量沖刷。是臨岸之水樣必多坍塌土質，難以代表平均數值，此其二。

米蘇里河亦為含沙量最多河道，為密西西比河上游之一大支流，每年輸入於密西西比河之泥沙，約在2億至4億立方碼。但據估計，該河流經米蘇里一州內之坍塌量，即可當上數之二倍。又密西西比河輸海之沙量，每年為4億立方碼，而開羅至黨納爾達威爾間，全年之坍塌量可達9億立方碼。黃河尚少此種統計，僅知經過某地之輸沙量為若干，其中必有一部非來自該地較遠之上游，亦非送至該地較遠之下游，純為局部之沖積。含沙量之觀測，僅記載流經該地之泥沙，不研究沖積，故不知泥沙之運行。是以不能只憑該地記錄，斷定其來源及歸宿，此其三。

根據以上兩項討論，吾人似可斷定，每年流經陝縣11億立方公尺之泥沙，並非全來自田野溝壑，亦非全流諸渤海及大平原。但其數值究為若干，目前推測，即屬武斷，即有臆度，亦恐誤差頗大。但為得一概念計，筆者於八年前所編之「黃河水患之控制」書中有一段結論：「約略估計，每年淤澱於孟津以下之泥沙，可一萬萬立方公尺，輸入於海者，亦一萬萬立方公尺，合計之為二萬萬立方公尺。此即上游黃土層中之土壤每年輸送於下游者，平均計之，約當陝縣輸沙量百分之十五也。」此為根據平原之淤澱與海岸之推進所測度之結論，本欲引起社會上之研究與討論，但未能得到反應或共鳴，更少進一步之研究，故今願重新提出。

長安荆峪溝有土壤沖刷試驗，為期僅一年，自未可引以為據，然亦不無可參考處。三十四年試驗土壤流失之結果，全年沖蝕地面平均深度為0.815公釐，據報告稱，該年雨量及其環境，頗可代表普通現象。今以此數為準，推諸鄜縣以上全域750,000平方公里，亦不過供給6億餘立方公尺之土壤，況全域不能沖蝕之地面必佔其一部，而且克凡以上流域約四十萬平方公里之雨量較少，且大部沖刷停滯寧緩平原，例如二十三年包頭四個月之輸沙量，僅當陝縣者百分之十二，二十四年者當百分之十三是也。又以荆峪溝為黃河之第五級河流，所攜泥沙可能沉澱於瀋河壩河及渭河谷者又一部。如此折合計算，陝縣輸沙量由各田野溝壑而來者，恐不過3億立方公尺，亦或即為全年下行之泥沙數量。

此兩種估計，皆為根據不充足之資料，今姑以後者為準，僅當11億立方公尺之27%。吾人

治河，無論爲防洪，爲興利，每主張於中游設攔洪庫或蓄水庫，曾因淤漲而估計其有效年齡。若以記錄爲根據而估計者，今可延其壽命之二倍。換言之，以陝縣之記錄爲根據，估其壽命爲十年者，今可延至三十年，更大之水庫，估計壽命爲四十年者，今可延至百年。

無論筆者估計之精確度如何，其不可以已有之記錄爲計算之依據，則至屬顯然。此筆者所以鄭重提請對於黃河泥沙之研究應加速進行者也。

既知泥沙之來源，即可謀管制之方策，爲治理下游計，可先注意中游托克托至孟津間一段。約略言之，可分三區：一爲渭河區，包括渭洛涇及其他流域；二爲托澗區，包括托克托以下至澗關間之各河流及其流域；三爲澗孟區，包括晉豫間各支流及其流域。於田畝荒野，應從事土地之善用，保土節水，此事不特關係治河，且於農業有密切關係。於溝壑荒溪，應興修攔沙壩防沙入河，並善用溝壑；後者與治河有直接關係，專就治河言，尤爲重要。此二者正所謂「清源」之策，雖爲國人所注意，然尙無人發展。譬如造林，雖盡人知之，奈無成績何。

托克托以上之黃土原仍多，亦待同法處理，前僅專就解除下游水患言之耳。

流域之工作，僅能減少泥沙之一部，故又須從護岸着手。護岸即所以鞏固河槽，河槽鞏固，則本身少沖積之象，所謂「善淤」之病，即可解決大半。

昔者，潘季馴主張束水攻沙之說，實爲中肯之論，惜乎護岸之工未曾講求，仍隨處可沖，亦隨處可淤，沖淤一生，則攻沙之效失矣。吳大澂僅有護灘之論，亦未見諸實行。

藉流域之管理，以清其源，河岸之鞏固，以祛其淤，雖難得絕對之效果，必可收相對之利益。來源既減，河道復固，僅有之少量泥沙，更可儘量使之輸諸大海。管制如此，庶不復爲患矣。

黄河泥沙冲积数量之分析

張 瑞 瑾⁽¹⁾

(一) 水文观测之精度

分析黄河泥沙之来源及去向，首須對現有觀測記錄之精確程度獲一概念，黄河幹支各流之水文測量工作由黄河水利工程總局，陝西省水利局等機構主持，施測方法，各有規定標準，惟實際上從事人員為事實所限，對於所定標準遵循之程度如何，各地不同，各時不同，殊難一概而論，下述測含沙量之方法乃大多數測站所習用：

1. 水樣於接近岸邊水深1-2m.處採取。
2. 取樣器為附有塞子之玻璃瓶。
3. 每次於水面，半深及河底（離河床數cm.）各取一水樣。
4. 於所有每一水樣中取約500c.c.之，秤之單位讀數為5gr.然後用普通紙過濾。
5. 將濾後紙上之土曬乾或置小鍋中烘乾。
6. 衡乾土之重量；秤之單位讀數為1gr.；將乾土保存。
7. 以（4）項所得重量除（6）項所得重量，得該水樣之含沙量。
8. 以上，中，下三水樣含沙量之平均值作為全河之平均含沙量，記入記載表中，同時註明水樣之年月日時及水位。
9. 低水時期，每一日或數日測含沙量一次；洪水時期每日測含沙量一次或數次。

由上述測含沙量之方法所能產生之各種誤差，筆者曾逐一分析，發覺由於岸邊水樣所產生之誤差最為重要，茲略述如次：

關於兩元（two-dimensionl）水流中含沙量在垂直上之分佈，前人從事研究者甚夥，理論及實驗皆已臻相當成熟。但研究岸邊取樣測含沙量之差誤，乃涉及三元（three-dimensionl）水流之問題，本身較為困難，且過去在此一方面研究之成果甚鮮。

流水中懸移質之存在，乃恃紊流中有上下向及左右向之變速（Fluctuation velocity）。在較長之時距內，某點之上下向及左右向變速之代數和將各為零，惟因懸移質之濃度在下層者恆較在上層者為高，近中泓者恆較近河岸者為高，遂使向上之變速較向下之變速所攜帶之泥沙顆粒為多，趨河岸之變速所攜帶之泥沙較趨中泓之變速為多，兩者超出數量之總和適與因泥沙本身沉速而下降之數量相等，謂之平衡。如採用第一圖之座標，此平衡情況可以下列部份微分方程式表之：

$$WC = -\epsilon_y \frac{\partial C}{\partial Y} - \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial X} \dots \dots \dots (1)$$

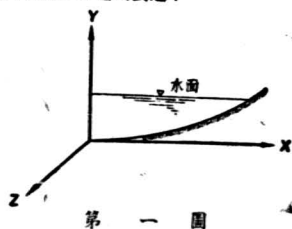
式中 W=泥沙在水中之沉速。

C=座標為(X,Y)處之含沙量。

ϵ_x, ϵ_y 各為該處X向及Y向之

泥沙傳遞係數 (Coefficient of silt Transfer)

可假定各與該向之動量傳遞係數 (Coefficient of Momentum Transfer) 相等。



第一圖

(1) 中央水利實驗處研究員

$\frac{\partial C}{\partial Y}$, $\frac{\partial C}{\partial X}$ 各為該處Y向及X向之含沙量變化率。

復以 τ_x, τ_y 代表該處在Y-Z及X-Z平面上之推移力，以 ρ 代表該點流體之比重，則

$$e_x = \frac{\tau_x}{\rho} / \left(-\frac{\partial V}{\partial X} \right)$$

$$e_y = \frac{\tau_y}{\rho} / \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right)$$

以 e_x 及 e_y 之值代入式(1)，得

$$WC = -\frac{\tau_y}{\rho} \frac{\frac{\partial C}{\partial Y}}{\frac{\partial V}{\partial Y}} + \frac{\tau_x}{\rho} \frac{\frac{\partial C}{\partial X}}{\frac{\partial V}{\partial X}}$$

$$\frac{dC}{C} = \frac{W\rho}{\tau_x - \tau_y} dV$$

就水中 有兩點a, b積分，得

$$\log \frac{C_a}{C_b} = W \int_{V_b}^{V_a} \frac{\rho}{\tau_x - \tau_y} dV$$

在一般情形中 ρ 之變化不大(1)，可以一平均值 $\bar{\rho}$ 代入上式，則得

$$\log \frac{C_a}{C_b} = W\bar{\rho} \int_{V_b}^{V_a} \frac{dV}{\tau_x - \tau_y}$$

$$\text{或} \quad C_a = C_b e^{W\bar{\rho} \int_{V_b}^{V_a} \frac{dV}{\tau_x - \tau_y}} \dots \dots \dots (2)$$

上式乃一較為複雜之函數，必須先確定 τ_x 及 τ_y 與 V 之關係始可積分，就中泓處 ($X=0$) 垂線中之情況言，因 $\tau_x=0$ 故

$$C_a = C_b e^{-W\bar{\rho} \int_{V_b}^{V_a} \frac{dV}{\tau_y}} \dots \dots \dots (3)$$

式(3)與常見之兩元水流中含沙量分佈之公式初無二致。復查水面情況，因 $\tau_y=0$ ，故

$$C_a = C_b e^{W\bar{\rho} \int_{V_b}^{V_a} \frac{dV}{\tau_x}} \dots \dots \dots (4)$$

不有充分測量記錄，式(3)及(4)仍難積分。但吾人可再作分析，俾藉式(4)得以觀察影響水面上含沙量之橫向分佈之因子若何。

式(4)中 τ_x 關係一變值，茲假定可以一平均值 $\bar{\tau}_x$ 代入，則式(4)可化爲

$$C_a = C_b e^{\frac{W\bar{\rho}}{\bar{\tau}_x} (V_a - V_b)} \dots \dots \dots (5)$$

若復假 $\bar{\tau}_x$ 與 $\bar{\rho}$ 有某種直線關係 (linear relation) 存在，而 $\bar{\tau}_y$ 與橫斷面中沿週週之平均推移力 τ_0 成直線關係，故

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_x &= \alpha \tau_0 \\ \text{仿是，可得} \quad V_a &= \beta \sqrt{RSg} \\ V_b &= \gamma \sqrt{RSg} \end{aligned}$$

(1)就數值言， ρ 之變化較含沙量之變化為小。

上式中 R = 水環半徑

S = 能坡

$\alpha, \beta,$ 為常數 (皆為不名數)

因之, 式(5)可寫為

$$C_a = C_b e^{\frac{W\sqrt{P}}{\alpha\tau_0}(\beta-\gamma)} \sqrt{RSg}$$

$$C_a = C_b e^{\left(\frac{\beta-\gamma}{\alpha}\right)W/\sqrt{RSg}} \dots \dots \dots (6) (1)$$

由式(6)可得有關水面上橫向含沙量之分佈之推論如下:

- (1) 流速愈高之處含沙量愈大。
- (2) 泥沙愈細各點含沙量變化愈小。
- (3) 平均水深愈大含沙量變化愈小。
- (4) 能坡愈大含沙量變化愈小。
- (5) 兩點間流速相差愈小, 含沙量變 愈小。
- (6) τ_x 與 τ_c 之比值愈大, 含沙量變化愈小。

就上述六點觀察, 可知於近岸取樣測定含沙量之辦法, 用諸瀾闊以下各站中, 當以陝縣情形較好, 而在陝縣洪水期中復較旺水期中為佳, 蓋津以下, 坡度平緩, 河槽寬淺, 且多呈複式, 在河水未漫灘以前所測含沙量差誤或猶不大, 在漫灘以後, 於灘面深取水樣以測含沙量則可能較平穩小去甚遠。

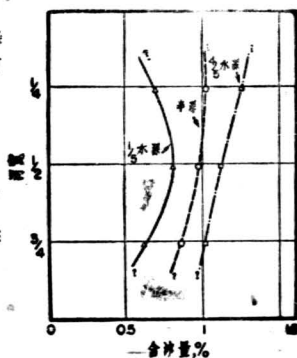
關於河槽斷面中含沙量在水平方向之分佈, 實際記錄甚少, 前黃河水利委員會所編「黃水文文」中之第27表洶屬可貴。該表載民國23年4月秦廠水文站所數含沙量之數值, 每次動量共取樣九點, 即在 $\frac{1}{4}$ 及 $\frac{3}{4}$ 河寬處各於 $\frac{1}{5}, \frac{1}{2}, \frac{4}{5}$ 水深點採取水樣, 測定含沙量, 含沙量之數值無大於 3% 者, 筆者曾對該項記錄加以分析, 第一表及第二圖示其各點平均值之變化, 由該圖可知:

- (1) 當時秦廠之中泓略形偏北
- (2) 中泓處含沙量較兩邊為高
- (3) 近河底之含沙量較近水面之含沙量為高

惟因近岸之處無測點, 故不能據此推論岸邊取樣誤差究如何。

第一表 1934年4月秦廠站含沙量在河槽中平均分佈情形

	$\frac{1}{5}$ 水深	半深	$\frac{4}{5}$ 水深
$\frac{1}{4}$ 河寬()	0.696	1.012	1.246
$\frac{1}{2}$ 河寬	0.807	0.968	1.115
$\frac{3}{4}$ 河寬(南)	0.619	0.858	1.005



第二圖

除上述岸邊取樣之差誤外, 因流量記錄之差誤影響於輸沙量之計算者甚大, 茲略述如次:

黃河自瀾闊下, 各處洪水流量若何, 吾人未曾澈底弄清, 其主要原因有三:

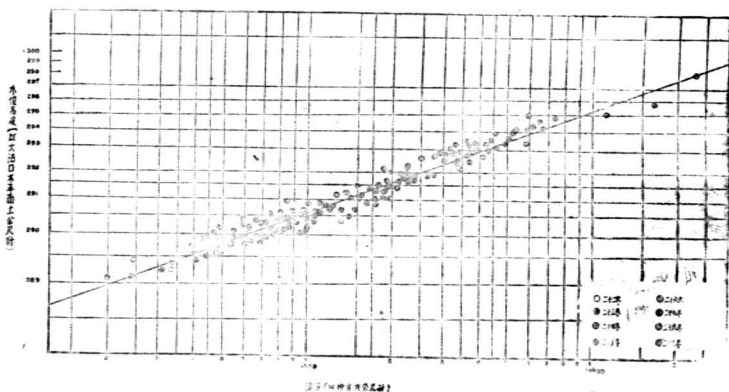
- (1) 河床沖淤無常, 水位與流量之關係未能盡守。
- (2) 水文站設備簡陋大水時期不能施測測量。

(1) 此式僅可用作解釋諸因子對含沙量分佈之影響, 如欲計算水面上各點之含沙量, 須用公式(4)。

(3) 測站經費不足，未能常測流量。

就過去記錄觀察，灤關下諸河段，在河槽呈單式之處，洪漲時期每被沖深，低水時期復被淤淺，惟每一高洪中沖深之程度如何，因缺乏記錄，無由得悉。在複式河槽中每遇高洪，洪水漫灘，灘上水流滯滯，往往落淤，深泓所在，則或仍被沖刷。河槽之變化既如此嚴重，非不時施測流量即難對流量變遷有真確之認識。洪水季月河槽變化最大，然施測流量亦最難，遂致洪水流量之實測記錄絕少，僅憑中低水及較低之洪水流量記錄，繪製水位流量關係曲線，推定各時期之流量，其可能差誤，豈易斷言。

茲復就該縣為例，1942年8月4日正午之洪水峯乃有記錄以來之最高者，計水位高度為299.35m。(大沽基點，後文同)流量未曾施測，用當時陝縣站所用水位流量關係曲線^{*}，得流量23,000c.m.s.，若用黃河水利委員會編「黃河水文」圖46所示陝縣站水位流量關係曲線，則流量為29,000c.m.s.若用中央水利實驗處給製之曲線，則流量為25,000c.m.s.當時陝縣站所用之曲線，手邊已無可參攷，其來由如何，未能明瞭；第三圖為「黃河水文」中之曲線，係根據1933至1940年之記錄繪於對數紙上，流量與水位之起點，乃一意選擇。第四圖為水利實驗處所製之曲線，流量為零時之理論水位如何，乃經過比較分析後始行確定者，公共工程委員會整理黃河水文資料，即根據第四圖之曲線A求陝

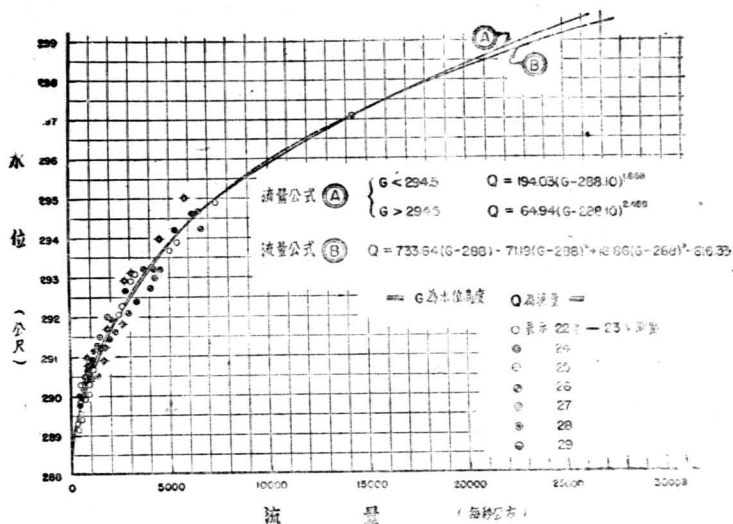


第三圖 二十二至二十年九年黃河陝縣水文站水位流量比率曲線

縣之流量，雖第四圖亦係根據1933至1940年之記錄，但結果與第三圖相差頗遠，第四圖中流量在8,000 c.m.s.以上之測點僅有一個，及發生於1933年8月9日者，「黃河概況及治水探討」中對該測點曾予說明，參閱該書，讀者可知此點僅係「半測點」，意即僅測水位及水面流速，而「測斷面者」，按第三圖中流量在8,000c.m.s.以上者共有三點，各發生於1933, 1934及1935年，其中發生於1933年圖中所示，流量為23,000c.m.s.水位為298.24m.，則此點蓋指該年8月9日晚之洪峯無疑。對於該次洪峯，「黃河概況及治水探討」中亦有詳細之描述，水位乃於事後(同年11月)就水痕測得，流量自係估算。其他發生於1934及1935兩年之兩點，乃係實測。

實測記錄中尚有發生於1936年9月5日之洪水一次水位為295.77m.，斷面積為3104.47m.²，平均

*筆者適於該年9月過陝縣，得睹此曲線(實為一繪於對數紙上之直線，測量人員自行延長至水位299.35m.處)



第四圖 黃河陝縣水文站水位流量比率曲線

流速為3.40m/sec，流量為10559.42c.m.s.，流速係用浮標測出，圖第三、四兩圖中皆未將此點納入。

綜上所述，可知第三圖或第四圖所查得之洪水流量，其精確度皆有問題。尤不幸者，黃河之挾運泥沙，多集中於七月至十月，甚或集中於數次洪水，如洪水流量不可靠，其影響於全年輸沙量之計算者遠較其影響於全年逕流量之計算者為大。或謂陝縣站河床較為固定，雖高洪期中，流量實測點甚少，水位流量關係曲線仍屬合用；然事實殆不盡然，若就第四圖中1938年之測點試聯一線，復就1937年之測點試聯一線，即將發覺兩線位置相差頗遠。流量記錄不精確，乃令輸沙量計算發生誤差之嚴重之因子。

他如水文測量人員負責之程度，及分析原 記錄所探之方法皆為影響輸沙量計算之因子，茲不備述。

原始記錄之誤差，難於校正，故後文中之分析結果亦有其先天之誤差存乎其中。

(二) 黃河泥沙之來源

本節所採水文資料，悉以葉永毅君所編「黃河水文」為根據(1)。就該書中諸統計表予以綜合分析，而得第二表。該表中之各測站各足以代表某一區域之輸沙情形，因汾河輸沙量不多，故河津站未予列入。

(1) Y. I. veh: "Hodrolovv of the Yellow River" Studies on Yellow River Protect, Publication No. 4 (under Publication)

第二表 黃河各站逕流量及輸沙量統計表

	陝 縣	潼 關	灤 頭	華 陰	張家山	咸 陽	龍 門	包 頭
平均年逕流量 10^6 m^3	42,991 -9,931	52,922	980	9,670	1,990	6,241	42,927 15,733	27,194
平均七至十月數 流量 10^6 m^3	26,309 -5,732	32,041	663	6,555	1,168	4,204	25,768 8,521	17,247
平均年輸沙量 10^6 tons	1,890.0 671.6	1,218.4	190.9	289.2	409.2	189.9	1,094.5 873.3	221.2
平均七至十月輸 沙量 10^6 tons	1,694.2 686.4	1,007.7	182.1	252.2	386.2	166.3	908.2 726.1	182.1
流 域 面 積 km^2	716,000 3,412	712,588	27,000	109,770	56,900	48,100	517,000 125,000	392,000
平均年單位面積 逕流量 mm.	60	74	36	88	35	130	83 126	69
平均七至十月單 位面積逕流量 mm.	37	45	25	60	21	87	50 88	44
平均年單位面積 沖刷量 kg/m^2	2.64 197	1.71	7.07	2.64	7.20	3.95	2.12 6.46	0.56
平均七至十月單 位面積沖刷量 kg/m^2	2.37 201	1.40	6.75	2.30	6.79	3.46	1.76 5.38	0.46
平均年含沙量 %	4.29	2.27	17.37	2.94	18.18	2.99	2.51 5.36	0.81
平均七至十月含 沙量 %	6.17	3.08	23.42	3.76	32.45	3.86	3.45 8.09	1.04

第二表中之數字，乃就各站之實測記錄各自平均而得，時間上不特久暫不同，抑且前後各殊，故以之作比較分析，實難獲致合理之結論。

考黃河諸測站之各種水文記錄中，以陝縣站之水位記錄歷時最長，計自1919年起至1943年止（原實止於1943年統計數字），凡25年，其間雖偶有殘缺，然大體完整。就同書中陝縣站流量累積曲線（流量係根據水位查出）所示，可知自1919至1923年為平水期，自1923至1933年為涸水期，自1933至1943年為豐水期，即在此25年中成一週期循環。就此記錄，確定豐涸週期有否適為25年固猶嫌不足，由該圖可斷言欲以短於25年之各種記錄推算平均年之柯泥沙沖淤現象皆可能招致極大之錯誤，而此類錯誤在討論黃河泥沙問題之論文中蓋往往見之。

除陝縣站之水位記錄外，黃河中上游各站之各種水文記錄僅有達15年以上者，是以欲就此種記錄分析平均年中黃河泥沙之來源幾屬不可能之事。在此種困難情形下，欲勉求以較為合理之方式，從事分析，筆者爰採下述方法，將現有各站記錄按豐涸週期之原則予以校正，雖其結果之精度如何，仍未敢武斷，應較第二表更接近於事實也。

現有各站記錄多在1933年以後，亦即在陝縣站水位流量記錄所表示之豐水期中，故逕流量及輸沙量皆可能按平均之數值為大，本文從事校正，首自陝縣站始。

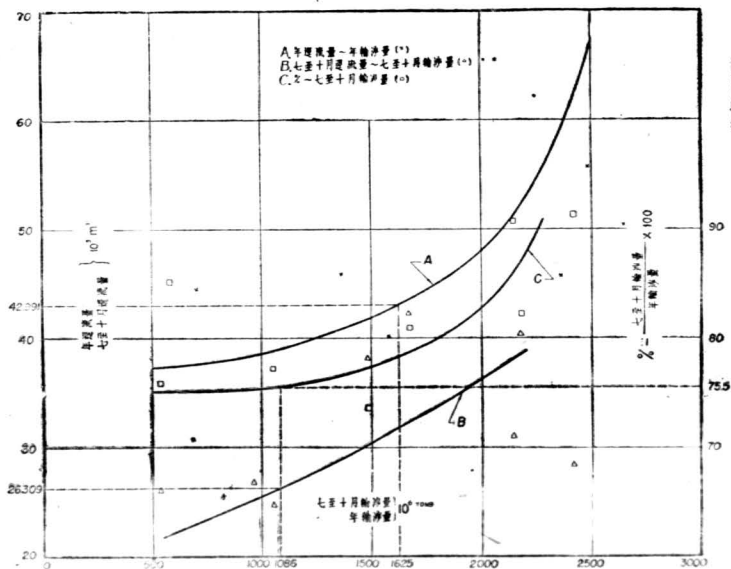
第二表中載明陝縣站之平均年逕流量為 $42,991,000,000 \text{ m}^3$ ，平均七至十月之逕流量為 $26,309,000,000 \text{ m}^3$ ，因其記錄包括一整個豐涸週期，故可認為合理。該站含沙量之觀測，歷時較短，

河 7

全在豐水期中，故第二表中所載平均年輸沙量為 1,890,000,000 tons 及平均七至十月輸沙量為 1,694,200,000tons 之兩數值俱可能失之過大。茲根據葉君所編“黃河水文”之統計數字，繪成第五圖該圖中曲綫A表示陝縣站年逕流量與年輸沙量之關係，曲綫B表示該站七至十月中逕流量與輸沙量之關係，曲綫C表示該站七至十月中輸沙量之增減與此季月內輸沙量所佔全年總輸沙量之百分數之關係。第四圖中點子數目不多，位置散亂，此即足以說明現有記錄之過疎缺乏，及從事精密分析之困難也。

以平均年逕流量 42,991,000,000m.³ 之數值，就第五圖之曲綫A中查得平均年輸沙量為 1,625,000,000 tons；復以平均七至十月之逕流量26,309,000,000m.³ 之數值就曲綫B查得平均七至十月之輸沙量為1,086,000,000 tons；更以此新得之數就曲綫C查得該數等於年輸沙量，75.5。由此可算出平均年輸沙量為1,438,000,000 tons，較直接自曲綫A查出之數稍小。於此兩數加以取舍，自無絕對理由，茲姑探其平均值，得陝縣站平均年輸沙量為1,500,000,000 tons，更藉此以自第五圖曲綫B，C查得平均七至十月之輸沙量為1,140,000,000tons，佔平均年輸沙量76%

陝縣站之平均年逕流量，輸沙量以及平均七至十月之逕流量及輸沙量之數值既分別估定，其餘各站之數字，即以陝縣站為根據，先求得各站逕流量與輸沙量對同年及同時期陝縣站逕流量與輸沙量之百分比，次就各年之百分比求得平均百分數，以此百分數乘陝縣站之平均年及平均七至十月之逕流量及輸沙量，即得各該站之平均年及平均七至十月之逕流量及輸沙量，第三、四、五、六諸表中所列數字，其計算步驟甚為明顯，勿庸逐一闡述。惟有一端須予說明者，即各表所載瀋關與陝縣間之數字，皆不可靠，諸數字悉由陝縣站之數字中減去瀋關站之數字而得，因此區域之流域面積甚



第五圖

第四表 黄河各站平均七至十月逐流量分析表

	陝	縣	澗	縣	華	縣	張	家	山	茂	陽	龍	門	包	頭
1. 七至八月逐流 量(10 ⁶ c.m.)	1932	17745	100												
及測缺逐流 量之百分數	3	34410													
	4	31114		939	3.0	31748	102.0	1118	3.6	4607	14.8	22928	74.7	21050	67.7
	5	42263		639	1.5	26682	86.8	1871	4.4	3883	8.5	27781	65.7	25200	59.6
	6	25970		159	6.1	24317	93.6	775	3.0	3237	12.5	18116	69.7	18150	59.8
	7	40307		1089	2.7	35416	87.8	15980	39.6	3176	7.9	8984	23.2	31405	77.8
	8	38004		575	1.5			7147	18.8	832	2.2	3271	8.6		
	9	24730		338	1.4			3143	12.7	551	2.2	1840	7.4	14214	57.5
	40	36430		1832	5.0			9354	25.7	2496	6.8	6399	17.6	20283	55.6
	1	17509		305	1.7			3442	19.6	733	4.2	4060	23.2	10274	58.6
	2	28417		419	1.5			2489	8.8	522	1.8	1328	4.7	11079	39.0
	3	40774		436	1.1			6320	15.5	995	2.4	6147	15.0	21534	52.7
2. 平均百分數	100			2.6				19.2		4.5		13.6		72.0	56.6
3. 平均七至十月 逐流岸10 ⁶ c.m.	26309	1947		685				5060		1184		3580		18942	14891
4. 流域面積&sq.m.	716,000	3,412		27000				109770		56900		48100		517000	392000
5. 單位面積逐流 量mm.	37	570		34				46		21		74		37	32

第六表 黄河各站平均七至十月输沙量分析表

	陕西	潼关	狄头	董寨	张寨山	成阳	龙门	包头									
1. 七至十月输沙量(万吨)	1934	2142.4	100%	1367.0	64.8	467.9	21.8	229.2	10.7	213.2	9.9	1236.5	57.3				
2. 七至十月输沙量百分数	5	1673.2	..	988.2	59.1	70.9	4.3	468.7	28.0	345.5	20.6	143.8	8.6	819.8	49.0		
3. 七至十月输沙量百分数	6	537.7	..	624.1	115.9	3.4	0.7	197.6	36.7	73.8	13.7	77.3	14.4	503.1	93.4	129.6	24.1
4. 平均百分数	7	2176.3	..	1052.4	48.4	119.5	5.5	627.9	28.9	339.8	15.6	315.6	14.5	1073.5	49.4	120.1	5.5
5. 平均百分数	8	1484.0	..	68.2	4.6	126.3	8.5	96.8	6.5	79.1	5.3	..	..	..	..	..	..
6. 平均百分数	9	1054.8	..	16.0	1.5	115.8	11.0	98.7	9.3	73.4	6.9	..	..	..	..	..	..
7. 平均百分数	40	2199.2	..	678.8	30.8	281.3	12.8	668.3	30.4	134.7	6.1	..	..	..	..	..	..
8. 平均百分数	1	584.4	..	62.1	10.6	171.9	29.4	156.7	26.8	302.9	51.8	..	..	..	..	..	..
9. 平均百分数	2	2411.8	..	172.0	7.1	98.5	4.1	155.3	6.4	33.7	1.4	..	..	..	..	..	..
10. 平均百分数	100	..	..	72.1	9.7	20.0	15.6	..	..	..	..	62.4	..	..	..	..	..
11. 平均百分数	27.9	..	..	822	110	228	178	..	..	..	..	151	..	..	..	..	..
12. 平均百分数	1140	..	..	318	..	..	..	..	..	..	..	712	..	..	..	..	..
13. 平均百分数	716000	..	..	712588	27000	109770	56900	..	..	..	..	517000	..	..	..	..	..
14. 平均百分数	26309	..	..	24362	685	5060	1184	..	..	..	..	18942	..	..	..	..	..
15. 平均百分数	1947	..	..	1.15	4.07	2.08	3.13	..	..	..	..	1.38	..	..	..	..	..
16. 平均百分数	1.59	..	..	93.2	3.31	14.80	4.38	..	..	..	..	3.68	..	..	..	..	..
17. 平均百分数	4.22	..	..	14.82	..	..	..	..	..	..	..	12.50	..	..	..	..	..

小，僅三千餘 km^2 ，欲相減後之差值可靠，必須兩處之觀測精度達95%以上不可，在實際上實難辦到。

就第五表及第六表觀察，咸陽及張家山兩站輸沙量之和較華縣為大，龍門、華縣、淤頭三站輸沙量之和較潼關為大。故平今年中潼關以上咸陽、龍門、淤頭以下之河省中，每歲淤積數量應超過冲刷數量，大季更屬如此，據龍門、咸陽、華縣諸站之實測記錄皆顯示該處河床係在繼續上升之情勢中，惜以潼關輸沙記錄為時僅4年，以第五表及第六表之數字作計算上述河段中淤積上升速率之根據，尚嫌精度不夠，且潼關上流一部分淤沙復憑藉風力移積於朝邑附近廣闊之地區中，在計算時自亦須列入，現有記載數字，實過度貧乏。

自第五表及第六表吾人可獲下列概念：

- (1) 陝縣輸沙量來自包頭龍門間者近半，來自涇洛渭者30%弱，來自包頭以上者不及15%。
- (2) 單位面積冲刷量以包頭龍門間為最大，洛河流域次之，渭河兩流域又次之，包頭以上之區域最小，最大者與最小者之比值為10。
- (3) 就平均年含沙量及平均七至十月之含沙量言，以洛河最大，渭河次之，包頭龍門間之水又次之，渭河更次之，包頭以上之水最小，最大者為最小者之15倍。
- (4) 潼關與陝縣間之冲刷情形現有記錄不足說明。

茲更將冲刷嚴重區域之面積約估如下：

- (1) 潼關至陝縣間之地區，冲刷現象可能為黃河流域中之最嚴重者，其面積約 $3,000\text{km}^2$ 。
- (2) 包頭與龍門間之泥沙實際上多來自保德與禹門口之間，其面積約 $83,000\text{km}^2$ 。
- (3) 涇洛渭流域中冲刷最嚴重之面積約為 $120,000\text{km}^2$ 。

上列三區域之總面積共為 $206,000\text{km}^2$ ，應為今後防冲工作最急切之對象。

(三) 黃河泥沙之去向

按地質學家最近研究結果，黃土層之生成迄今約30,000年，當其生成之初，溝壑無多，每年冲刷數量當遠較現值為小，迨後溝壑之變相及長度逐漸增加，冲刷速率亦隨之逐年增大。惟經歷相當時期以後，黃土層逐漸消失，其被覆面積逐漸縮小，深度逐漸變薄，則冲刷速率亦應逐漸減低；由此論之，如任聽自然現象之支配，黃土層之冲刷速率將由小變大，復由大變小，如圖(六)所示。

就前篇分析結果，知目前陝縣平均年輸沙量為1,500,000,000 tons；原狀黃土之平均乾容重為 1.49tens/m^3 ，即每年冲刷速率為 $1,000,000,000\text{m}^3$ 。設在過去30,000年中平均每年冲刷速率為此數之半，則30,000年之總冲刷量為

$$30,000 \times 1,000,000,000 \times \frac{1}{2} = 15 \times 10^{12}\text{m}^3$$

黃河於上中游冲刷之泥沙悉用於製造下游冲積平原，孟津以東遼闊之黃淮冲積平原，其地區南繞閿家口以迄江都而抵崇明，北包衛運而達津沽，除山東境內之高仰地區不計外，冲積平原之總面積計 $244,100\text{km}^2$ ，冲積層之厚度甚難估計，平、津、京、滬等地之鑿井記錄雖可供參考，但區域太狹，不足以概一般，張含英先生曾約估平均厚度為60m，今暫引用此數，得冲積平原淤積物之總量為 $14.65 \times 10^{12}\text{m}^3$ 。另一部份泥沙，由於

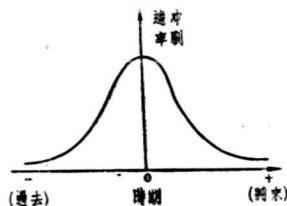


圖 (六)

(1) 本文所謂“平均含沙量”係某一時期之輸沙量與同時期中水與沙之總量之重量百分比，與一般水文統計表中直接將含沙量記載數字相加而得平均者，其含義不同。

河水入海所生異重流 (Density Current) 之攜帶，鋪填海底；假使渤海與黃海 離大陸 250 km 以內之地區未淤積以前平均深度為 70m，復假定受淤地區限於 250m 以內(現有 70m 之水深較平均離海岸綫約 250km)則自大沽口起至揚子江口止海內淤積物之總量為 $6.12 \times 10^{12} \text{m}^3$ 連沖積平原中之淤積物計之，共為 $20.77 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。此大量淤積物之來源有三，即黃河，永定河及長江是也。後二者之年輸沙量約為黃河年輸沙量 $\frac{1}{3}$ ，即上述淤積物來自黃河者為

$$20.77 \times 10^{12} \times \frac{1.0}{1.33} = 15.6 \times 10^{12} \text{m}^3$$

與前文中所估計黃河於 30,000 年來之沖刷總量尚屬接近。

黃河泥沙絕大多數來自黃土峁，據地質調查所近年調查統計，黃河流域現有黃土之被覆面積為 434,000 km² 各地厚度不同，今平均以 30m 計之，則孟津以上所有之黃土尚有 $13.02 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，與上文所述已沖刷之數量大致相等。

黃河泥沙入海部分與堆積於平原表面部份之比值如何，中外人士，論者甚衆，然迄未獲定論，在黃土高原受黃河剝蝕之初，孟津下流平原開始生成之際，每年沉澱於平原表面之泥沙與入海泥沙數量之比值應極小，其理由有二：(a) 彼時沖刷速率不大，含沙量低，河水足以攜挾入海，(b) 彼時平原短小，下游河床坡度陡峻，河水挾沙力強。迨後上游沖刷速率逐漸增大，平原逐漸向大海延伸，下游河床坡度變緩，上述比值即逐漸增大。欲估計目前此一比值如何，引用黃河下游各站所輸沙量作計算根據，固屬最為直接合理之辦法，惜因各站記載太短，頗不可靠，筆者曾事分析，未測獲結果。無已，茲姑以下述之間接方法約估之。

自有史以來，黃河自利津及其附近地區獨流入海者先後凡 1,118 年，分流(二支之一)經利津及其附近地區入海者凡 335 年。利津於金明昌 置縣，漢時隸千乘郡，原係近海，今則已離海凡 68 km 矣。海岸綫之進展，自皆由於黃河入海泥沙淤積使然，假定泥沙因異重流之攜帶，可能到達黃海與渤海交界處之廟島海峽，並參照丁，翁，曾氏所編 1:2,000,000 之中華民國新地圖，估計利津以東之淤積總量如下 參看第六圖：

如第六圖所示，斜線面積為增淤地區之縱斷面積，其數量為

$$68,000 \times \frac{40}{200,000} \times 200,000 = 2.72 \times 10^9 \text{m}^3$$

當河口 海中進展時並非一點單獨前進，其左右地區亦將受其牽連而進展，估計利津附近左右影響所及之地帶約寬 200 km，即利津以東增淤之總容積為

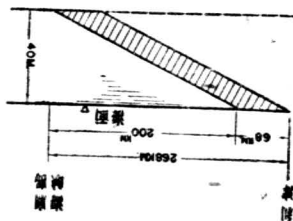
$$2.72 \times 200 \times 10^3 = 544 \times 10^9 \text{m}^3$$

此 $544 \times 10^9 \text{m}^3$ 之泥沙乃黃河於 1,118 年中獨流經該區入海及於 335 年中分流經該區入海之時期內所淤積。當分流時期，不僅沙量來源減半，挾沙能力亦弱，今假定分流每挾運泥沙入海之數量為獨流之 $\frac{1}{4}$ ，則 335 年之分流相當於 84 年之獨流，即此時期入海泥沙之平均每年數量為

$$\frac{544 \times 10^9}{84 + 1,118} = 0.452 \times 10^9 \text{m}^3$$

亦即佔該縣平均年輸沙量 45.2%。

該縣平均年輸沙為 1,000,000,000 m³，除 45.2% 入海外，其餘 54.8% 悉墊於沖積平原表面。此 54.8% 又分為兩部分，其一隨決堤河水堆積於廣泛之堤外地區，其一淤澱於南北兩大堤之間。後者之數量估算如次：



第七圖

第七表 孟津以下黃河河槽概況

地點	里程 km.	大堤距離 或洪水河 槽寬度 km.	中水位比降	深水線 位置	左岸灘地 高於堤外 地區之公 尺數	右岸灘地 高於堤外 地區之公 尺數	(6)(7) 之加重 平均數 m.	附註
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
孟津霞院鎮	0							
孟縣中槽坡	20	5	1.4,040	南	4.8	3.3	4.5	北堤開台
沁河口	95							
平漢鐵橋	107							
廣武保台寨	113	9	1.6,120	中				南堤開台
中牟揚橋	142							
開封黑崗渡口	182	13	1.5,110	南—北	7.1	4.3	5.7	
開封曹崗渡口	207							
開封鋼瓦廟	225	8.5		北				
高村	285							
蘆莊	315	14	1.7,040	中	1	1	1	
陶城埽	422							
澗口	540	1.5	1.8,840	南北不一	3	?	3(?)	南堤 斷續
利津	700							
利津鹽窩	725	2	1.10,870		?	?	?	
		1.5	1.8,330					堤盡

就黃河水利委員會1933年測量之結果加以分析(參看第七表),假定大堤內灘地高度原與堤外農地等高,則自孟津至鋼瓦廟一段洪水河槽內於1495至1933年間共落淤 $9.1 \times 10^9 \text{ m}^3$,即平均每年落淤 $21 \times 10^6 \text{ m}^3$,自鋼瓦廟至利津鹽窩一段洪水河槽內於1856至1933年間共落淤 $3.3 \times 10^9 \text{ m}^3$,即平均每年落淤 $43 \times 10^6 \text{ m}^3$,於上述兩段中平均每年共落淤 $64 \times 10^6 \text{ m}^3$,即佔陝縣平均年輸沙量6.4%。然則隨決堤河水淤墊於堤外平原表面者應佔陝縣平均年輸沙量48.4%

第八表為本節分析結果之總結。

第八表 黃河泥沙去路之分析

項別	有史以還 入海	平均每年淤積數量 大堤外平原上	洪水河槽內
數量 10^6 m^3	452	484	64
佔陝縣平均年輸沙量之%	45.2	48.4	6.4

(四) 結語

(1) 就現有各種紀錄分析，目前陝縣輸沙量平均每年為1,500,000,000 tons；黃土之乾容重為1.49tons/m³，即陝縣以上平均每年之沖刷數量為1,000,000,000m³，約三倍於長江，30倍於永定河之沖刷量。其中45%入海，6.4%墊於孟津以東洪水河槽，48.4%隨壩堤河水沈積於黃淮平原。

(2) 沖刷嚴重區域為潼關陝縣間，保德龍門間及涇洛渭一部份地區(1)，總面積約206,000km²。

(3) 黃河泥沙來源，最主要者為溝壑之蔓延與拓寬加深，由於台地之層沖者次之。至於幹流河槽兩岸之坍塌，雖在某一短時期之某一特殊地點可能相當嚴重，但在整個黃河之沖刷現象中，似不能佔重要成分。——自河曲至孟津黃河幹流之長度約1,020 km，合兩岸計之共長2,040km，假設平均兩岸可能崩塌之黃土層厚度為30m，復假設因崩塌作用河岸平均每年退後1m，即河寬平均每年增加2m，則因此落入黃河之泥沙每年將為61,200,000m³，僅及陝縣站平均年輸沙量6.12%耳，而以上諸假設固皆屬事實上不可能達到者。

(4) 就整個黃河著眼，其上中游之沖刷現象，與下游之淤積現象乃在夙續不斷之演變中，無平衡之可言。因之如以某一年或某數年之紀錄推論數十年或數千年之現象，每易歸於錯誤結論。

(5) 陝縣含沙量紀錄中之最高值為46.14%，或有疑其過大者，該值發生於1942年8月4日正午，其時洪水驟至，水尺盡行漂沒，水位暴漲時置磚測得，該站負責人員並曾藉河中漂流之樹木房舍測得當時河心表面流速為10 m./sec.其值豈非驚人，若復計算雷氏數(Beynolds' Number)得 2×10^7 ，亦屬頗大，故含沙量達49.14%，亦非不可能。——黃河若干支流之含沙量頗不乏猶超出上數者，因之，“黃河最大可能之含沙量如何？”乃為一有趣之問題。解答此問題，吾人可作一假想，即在任何情況下，懸移質中泥沙排列之密度不能較其新淤中泥沙排列之密度更大，充其量亦不過相等耳。是以新淤內泥沙排列之密度若以“含沙量”表之，即應為懸移質含沙量之理論最大極限。根據中央水利實驗處陝縣懸移質之分析結果(2)，更採用來因及高爾斯兩氏估計沉積物乾容重之方法(3)得新淤之乾容重為72^{1b}/ft³，若以“含沙量”表之，則為66.7%。因懸移質之粒配度各地不同，即在同一測站亦因時而異，故上述極限值亦可能略有變動，惟就黃河泥沙之性狀言，此種變化不至太大也。

(6) 本文之分析工作，悉以現有實際紀錄為依據，因各項紀錄精度不够，歷時太短，故分析所獲之結果亦難免含有先天性之誤差。又分析時沿河床推移質之數量未能列入，以其向無實測紀錄可資依據。惟按黃河河性窺察，推移質之數量所佔總輸沙量之百分數或屬有限耳。——水文觀測工作之充實改進，實為當務之急，欲不陳而獲，事豈可能！

1. 就河工觀言，非就農業觀點言。

2. 參看本期“水利”拙著“於三门峡建築洪水庫淤積問題之初步研討”中圖(十三)。

3. 參看 E.W. Lane and V.A. Kozelzer: "Density of sediments Deposited in Reservoirs", 1943.

永定河之泥沙

徐世大⁽¹⁾

於本刊付印時，未能獲得有關永定河泥沙之最近紀錄，爰徵得徐世大先生同意，將『永定河治水計劃』中討論泥沙部份摘要鈔列，以期讀者能自本刊中對吾國三巨瀆（長江，黃河，永定河）之輸沙情形獲一概念。 編者註

根據自民國九年至十九年間永定河官廳，三家店，蘆溝橋等處斷續不全之流量，流速及含沙量記錄，吾人可獲推論如次：

(一) 永定河之含沙量，隨流量為消漲，最大之含沙量，多在洪水之時。較之低水之含沙量，有大至數十倍乃至數百倍者。蓋以洪水多為暴雨所致，董山峻坂，冲刷至易，而流量既增，速率亦大，故含沙特多。若在低水，水之來源，皆仰給於地下滲出之泉水，除兩岸之冲刷外，無復泥沙，其量自小也。

(二) 含沙量雖視流量為消漲，但有時亦不盡然。如十八年八月二日之流量，較三日為小，而含沙量則反大。此殆因水之來源不同，故有此異徵。

(三) 含沙量與洪水流速之關係，甚薄弱。例如十八年八月三日三家店測站之含沙量為12.9%，其時流量為每秒2000立方公尺。而八月五日流量僅1320秒立方公尺，含沙量反為22.5%。同年七月二十一日流量在850秒立方公尺時，含沙量竟大至30.9%。此二者殆因水退復漲，土岸既經飽和，岸脚反受冲刷，坍塌特多所致。若在低水，流量Q與含沙量 S_p ，頗有密切之關係，可表示如表(一)及圖(一)，按圖(一)各綫所示，得第(1)式如下：

$$S_q = a \cdot Q^{1.54} \begin{cases} a = 0.0095 \text{ 平均} \\ a = 0.0363 \text{ 最高} \\ a = 0.0026 \text{ 最低} \end{cases} \quad (1)$$

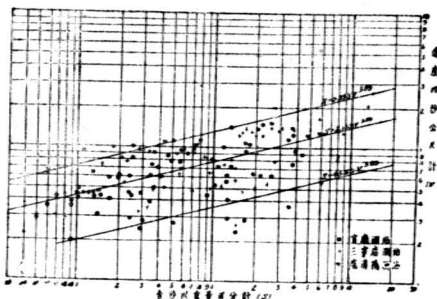
(四) 表(一)所列含沙量，以官廳為最高，三家店次之，蘆溝橋又次之。殆以坡降漸緩，河道漸寬，沉積之力，優於冲刷之故。而官廳三家店間各支流之清水加入，亦不無影響。但十八年洪水時期，官廳之含沙量，多小於三家店。推原其故，殆以是年洪水，大部分由於官廳三家店間各支流，故其沙量，較之官廳，增加甚鉅。若在官廳流量較鉅之時，如是年八月十二及十三兩日之記載，則官廳含沙量仍較三家店為高。惜十三年發洪時，含沙量測驗甚少，亦無官廳之記載，以資比較耳。然可斷言者，大部份沙量來自官廳以上，惟有時因洪水來源之不同，亦有從官廳三家店間各支流加入者。

(五) 十八年七月十八日永定河三家店測站含沙量，大至以重量計38.7%，頗足驚人。然同時官廳及蘆溝橋之含沙量，為25.4%與32.7%，則其記載，既非局部之現象，自屬可信。且據各站測流員之報告，當洪水時流速過大，汲水器能沉入水中，故水採取自水面。查河水含沙之情形，在近水面處，沙細而量較小，愈近河底，則沙愈粗而量亦愈大。則此最高記錄，實際或尚不足代表

(1)海河工程局局長前華北水利委員會總工程師

表(一) 永定河低水流量與含沙量關係表

流量 秒立方公尺	平均含沙量(重量百分比)		
	官廳	三家店	盧溝橋
5	0.25	0.15	0.07
10	0.50	0.30	0.18
15	0.80	0.50	0.40
20	1.10	0.70	0.60
30	1.70	1.10	0.90
40	2.10	1.70	1.20
50	2.60	2.50	1.70



圖(一) 永定河枯水流量與含沙量關係曲線圖

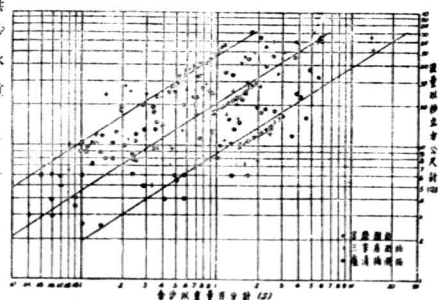
實在情形。惟以本會觀測時期之過短，此段大之含沙量，是否由於特別情形，抑為洪水時期之普通現象，則尚有待於繼續觀測研究，而後可得其究竟也。

(六) 水底之沙泥，較深處為小，可以表(二)說明之，至河底泥沙，因有一部份被水推動之粗沙，頗難測其實在數量，故略而不具。

(七) 含沙量與平均流速之關係，雖因其他種種影響，不免複雜，大致則流速愈大，沙量愈增。若欲過去記錄以流速率V為經，含沙量S為緯，於對數格紙定其點之所在，而求其平均之關係，則得關係線如圖(二)，其關係可以公式(2)表示如下。

$$S_V = 6 \cdot v^{3.89} \begin{cases} b = 2,158 & \text{平均} \\ b = 45.60 & \text{最高} \\ b = 0,293 & \text{最低} \end{cases} \quad (2)$$

(八) 永定河之含沙量之消漲，雖大體可知，然欲求其每年泥沙洩量，則甚難着手。蓋以含沙量與流量同時測驗，雖能代表某一時期某處之泥沙洩量，然以：(一)含沙量之增減，與流量關係不易確定，(二)泥沙下行，仍因河道之變遷而沉浮，則其含沙量，亦各處互易，(三)兩岸禦水之強弱，至不一律，則其受冲刷之程度，亦無常規，而含沙量遂致消漲靡定，(四)含沙量與水深及平均流速率，有密切之關係，水深而流緩，則沙量減，水淺而流速，則沙量增，河道寬深，變遷至劇。故下游之沙，自不能即為上游所洩之沙，沙泥之洩量，計算至難。前廳直水利委員會於十年及十六年各測三角淀地形一次，而計算其沉積之沙，平均為每年25兆立方公尺，其計算之方法如表(三)所示。



圖(二) 永定河枯水流速與含沙量關係曲線圖

表(二) 永定河含沙量與水深之關係

測站	日期	水面高度 以大沽平 均海面計	流量 每方公 立尺	河水深度 公尺	含沙重量百分比			
					水面	水深 $\frac{1}{4}$ 處	水深 $\frac{1}{2}$ 處	水深 $\frac{3}{4}$ 處
三家店	民國9年9月27日	101.70	20	0.75	0.36		0.36	
	10月6日	101.89	35	0.81	0.82		1.46	
	20日	101.86	32	0.68	1.00		1.92	
	10年5月10日	102.06	58	0.80	3.74		5.19	
	6月11日	102.10	65	1.15	3.83		4.74	
	7月5日	102.58	185	2.40	8.04		9.49	
	8月9日	102.32	110	1.40	8.83		10.19	
蘆溝橋	9年4月2日	60.64	96	1.70	2.86		2.63	
	5月19日	60.46	52	1.18	2.30		2.68	
	6月20日	50.38	34	0.89	2.31		1.56	
	8月8日	60.39	35	0.77	4.38		4.75	
	8月20日	60.61	86	1.15	9.14		9.39	
	10年5月10日	60.57	65	0.92	4.51		5.51	
	6月10日	61.09	180	1.40	8.68		10.58	
	7月5日	61.17	210	1.45	13.10		15.40	
8月2日	61.06	170	1.40	5.60		5.78		
雙營	9年6月2日	20.50	45	1.36	1.28	1.39	1.47	1.58
	8月9日	20.03	15	0.83	2.08		2.43	
	8月25日	20.47	45	1.20	4.50	4.68	5.03	5.38
	9月30日	20.15	20	1.22	0.87		1.13	
	16年4月2日	20.59	85	1.00	1.50		2.21	
	5月11日	20.50	65	0.80	2.50		3.04	
	6月10日	20.64	95	0.86	3.29		5.01	
	6月6日	20.75	125	0.91	5.72		6.70	

表(三)所列平均每年25兆立方公尺之淤沙，尚未包括13年因決口而淤積於永定河以南被災之區域，及最細之沙泥，隨流入海者在內。按十三年永定河決口與大清河之洪水量，為545兆立方公尺，以平均含沙量按重量8%計算，當為43.6兆公噸。平均每年合6.2兆公噸，若按面積計而以40%為孔隙，約為3.7兆立方公尺，故三角淀沉積之泥沙，每年平均約為28.7兆立方公尺，如就各站平均流量，與含沙量而計算其每月沙泥洩量之體積，則每年總數計為25.7兆立方公尺，與三角淀之推算，大致相差不遠，兩者平均約為27兆立方公尺，其推算方法見表(四)。

(九) 永定河沙泥，自三角淀以下洩者，究有若干，其推算更難。蓋永定河沙入運後，即與北運之沙混合。及入海河，則大清，子牙，南運諸河沙泥，亦復加入。據海河工程局前總工程師

表(三) 永定河三角淀加淤體積推算表(民國10年春至16年秋)

同高線 公尺	蓄水量 (兆立方公尺)		淤泥體積 (兆立方公尺)	兩同高線間 之淤泥體積 (兆立方公尺)	兩同高線間之面積(方公里)	
	民國10年春	民國16年秋			10年春	16年秋
4.5-5.0	0.20	0.00	0.20	0.20	0.9	0.0
5-6	22.00	17.80	4.20	4.00	41.8	35.6
6-7	80.10	71.40	8.70	4.50	30.8	36.1
7-8	178.25	166.60	11.65	2.95	49.3	47.1
8-9	327.25	311.30	15.95	4.30	52.4	51.9
9-10	528.50	508.30	20.20	4.25	52.1	52.5
10-11	783.45	755.60	27.85	7.65	55.3	48.2
11-12	1088.95	1049.30	39.65	11.80	45.8	44.6
12-13	1440.05	1385.10	54.95	15.30	45.4	39.6
13-14	1839.60	1759.70	79.90	24.95	51.5	38.0
14-15	2286.05	2177.70	108.35	28.45	42.3	48.9
15-16	2774.40	2647.00	127.40	19.05	41.5	53.5
16-17	3303.95	3163.10	140.85	13.45	40.9	40.2
17-18	3869.60	3715.60	154.00	13.15	31.3	32.5
18-19	4456.45	4294.10	162.35	8.35	11.1	19.5
19-20	5051.90	4836.10	165.80	3.45	6.1	7.6
20-21	5651.80	5383.60	168.20	2.40	2.8	3.3
21-22	6253.12	6082.90	170.22	1.98	0.0	1.4

附註 此表之算法，係假定三角淀為一水庫，四圍以堤為界。由民國10年春間之蓄水量，減去民國16年秋間之蓄水量，即得7年間加淤之體積。表內第四行為由東向西之總加淤體積。表內第五行為兩同高線間之加淤體積。

平雷內報告(海河工程局1927年報告)，西河北河及永定之沙泥，大約為一、二、四之比，即永定河之沙泥，佔海河含沙量七分之四。又據海河工程局1928年報告書，1920年及1921年，每年由永定河流入海河之泥量，不足1,000,000立方公尺，而1928年二次汛期中海河水內之泥沙竟超過18,000,000立方碼，由永定河來者，在6,000,000與8,000,000立方公尺之間(若以是年該報告書所載年平均含沙量與平均流量計算，其數亦約略相同。)是永定河之洩沙總量，迥同沉積三角淀者在內計算，平均每年28兆立方公尺，尚無大誤。在洪水期中，如永定河堤不復決口，則或可至35兆立方公尺以上。

(十) 永定河含沙量，雖較世界各河為高，然其沙泥總量，每年平均27兆立方公尺，較之其他著名含沙河流，實無足驚異。蓋其平均流量甚小，每年沙量之排洩，全在汛期。如表(四)所示，七八兩月平均排洩沙量為23.44兆立方公尺。佔全年沙量之91%。故使汛期泥沙得有去路，則其為害於下游者，必可減輕不少也。茲將世界著名含沙河流之流量及沙泥總量，列表於下，以資比較。

表(四) 永定河逐月排洩沙量推算表

流量單位：兆立方公尺

含沙總積：千立方公尺

含沙量：%

		一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
民國9年	流量					42.75	52.80	50.70	48.00	42.50	72.50	63.00	
	含沙量					0.68	1.99	5.87	2.08	0.41	0.79	0.63	
	含沙總積					166	600	1,700	570	100	326.5	226	
10年	流量			155.00	99.80	56.50	75.20	123.00	123.50				
	含沙量			0.91	1.13	1.46	1.56	3.41	3.84				
	含沙總積			806	585	470	666	2,390	2,700				
18年	流量					8.90	8.10	447.00	491.00	62.60	53.50	54.40	50.00
	含沙量					0.06	2.33	17.99	10.34	0.43	0.16	0.14	0.07
	含沙總積					1.33	107.3	45.862	8,940	153	48.8	43.3	20
19年	流量			169.90	48.00	15.40	18.20	46.20					
	含沙量			0.91	0.24	0.07	1.44	3.28					
	含沙總積			882	65.7	6.16	149	864					
平均數	流量			162.50	69.40	29.60	38.60	166.7	220.80	52.50	63.00	58.70	50.00
	含沙量			0.91	0.82	0.95	1.37	13.40	8.55	0.42	0.56	0.40	0.07
	含沙總積	?	?	844	325	161	380.7	12,700	10,740	126	187	135	20

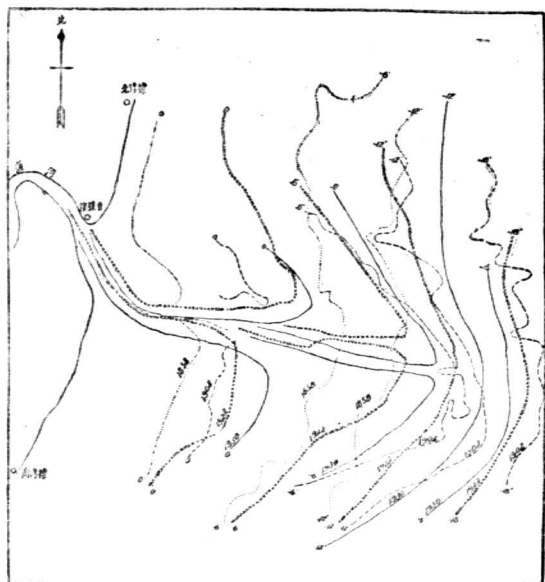
表(五) 世界著名河流之流量與每年輸出沙泥總量表

河名	流量(千立方公尺)			每年沙泥總量 (兆立方公尺)	備考
	最	小	最大		
密失必河	1,850	49,400		396.0	經阿蘭
密所里河	425	25,500	2,830	316.0	河口處
多腦河	1,980	28,300		60.0	三角洲上游
尼羅河	250	12,000	3,630	37.3	湖羣流量，沙泥在上已入灌溉地者不計
波河		6,250	1,740	39.8	出口上游六十英里
羅納河	368	13,900		21.0	在郎斯河口
格蘭特河			47	22.0	在新墨西哥州聖馬西爾地方，河底沙泥在外
可羅拉度河			647	170.0	在雨麥以上流域面積22,500平方公里
永定河		4,900		27.0	民十三蘆溝橋流量

(十一) 永定河泥沙之去路，可分為下列數者。(一) 增高河槽，(二) 淤積低窪，(三) 淤高泛濫之平地，(四) 淤積海河，(五) 淤積海口。在永定河堤防未完成前，平地之淤高，應較河槽為速，迨堤防完成，除漫決外，泥沙不得不積於河槽矣。現在河底較平地高出數公尺，以永定河含沙量之鉅，自無足異。低窪之地，如文安窪等，蓄實等於湖泊，否則已與平地相差無幾。而三角淀則已高出平地三公尺以上。海河之淤積，每數十年而一遇，然遇洪水之年，則刷深者，當較淤積為甚。海口之受淤，根據海河

工程局報告，比較1895年至1922年大沽沙之延展，約淤積86兆立方公尺（僅以南北兩浮燈為界）。每年約淤積1,350,000立方公尺也。（參看圖三）。

總之，永定河如無堤防，大部份泥沙，自必淤積於平地及內地之淀泊。海河情形，是否較今日為勝，則殊不可知。蓋平地泛濫，則蒸發與其他損失，必甚於今日。流量既減，則冲刷之力，亦必減小也。三角淀之圍堤，在當時未必非計。然以每年27兆立方公尺之沙泥，積聚於有限之地，日久弊生，勢所必然。蓋永定河治本之方，若不為沙泥謀去路，即能苟安於一時，決不能歷久而不敝也。



圖(三) 大沽沙變遷圖

海河口大沽沙疏浚概況

薛 觀 瀛 (1)

海河爲北運、永定、大清、子牙、南運等五河尾閘，其上游自南運河於天津金鋼橋附近匯注後，傍天津市區東流，達廢大沽北炮台舊北入渤海灣，長七〇公里。民前五一年根據天津條約開天津爲商埠，其後列強復謀增加在天津貿易額，乃於民前壹壹年拳匪亂時更成立之專事有關海河航運工程之機構，是即今日水利部海河工程局前身。本文所述爲海河口至深海一段，歷年疏浚沿革之概況。

海河口寬三〇〇公尺，水深六公尺（註），既入渤海灣，水流受阻於海水，流速驟緩，挾沙力減弱，於是有一部分泥沙沉積河底及兩岸。在河口觀之，所謂兩岸亦即與海灘相連之河口淺灘，此平行於河流方向口漸淤積之兩岸，並有向海伸展之趨勢，東水於一槽，因而維持河身不淤，是爲河口深淵。更向海水流益緩，河水挾沙之沉積的愈多，即成功攔門沙橫亘河口延長線中心，通稱之大沽沙是也。其東端距河口約一、五公里，其外即深海，俗謂之蓋外。茲再分段詳述之：

(一)河口段：海河河口因受潮水進退之沖盪成爲漏斗形，又以由海向陸吹之風恆強於由陸向海吹之風，強風生浪，推動河底泥沙，促成河口淺灘。但風向與流向並非一致，結果遂使河口段成爲彎曲。

(甲)彎曲前段：自廢北炮台舊址始，方向南東三〇度，長一、七公里，水深五公尺。

(乙)彎曲後段：方向突北折二七度，南東五七度，長一、四公里，水深六公尺。較前段略寬。

本段之所以彎曲如前言，因風浪造成水流方向不一致淺灘；但淺灘既成，範水流於一泓，則其力必增。故河口有依水流方向向海冲刷淺灘之勢，約佔或每年二十三公尺，形見其愈爲彎曲也。

海河爲一受潮汐影響河流。潮汐漲落對河底冲刷之關係與普通河流相同：即中水至低水階段冲刷力最大。易言之：漲潮時雖有挾沙上溯之情形，其力微；落潮之後半時期冲刷力最大。海河口外深海中漲潮方向爲北西，潮落方向爲南東。其強潮落潮平均方向爲南東六七度，流速每秒一、二公尺。故河口有北淤南刷現象。海河口以外深槽之造成實由於落潮時，落潮水流與海水水流，二者之合力。海河水流出河口後，其流速愈遠愈近海愈小，而另一方面之落潮力增加，二者之變化消長，顯非簡單直線關係。海河水力量作用顯著之段爲

(二)深淵段：自河口段更東指，寬僅五〇〇公尺。故可集中水流，維持其深槽。自此愈東愈淺，長六、六公里。

(甲)內深淵段：水深三公尺，更分二折：第一段方向南東七八度，長二、一公里；第二段北東八七度，長二公里。此段中河流力量甚強，故大致依順河口方向。再東，落潮力量漸著，深槽方向亦漸依落潮方向爲

(乙)外深淵段：方向南東六四度，長二、五公里。

(1)海河工程局副工程師

內外深淵中心線相交角度有漸漸減小之勢：民前五四年爲三〇度，民前五年爲十七度，民國六年洪水時爲八度。亦足證兩岸淺灘向外伸展及落潮與河流量消長關係。民國二十八年洪水後測量結果，河口至深淵段尙可見冲刷作用，再外即無。蓋落潮流速甚小，不可恃其冲刷也；且河幅寬寬，水流力益緩，沉沙愈多。

(三) 大沽沙段：方向南東七八度，長一·八公里，極淺。水流至此不復集中，分散而沿海灘，積沙悉沉積此段。故遇上游大雨，含沙量加大時，每於短期內將深槽淤墊，而後藉清水之力復漸冲成新深槽。如民國十六年三月二十二日至三十日間，八日內淤高一·七公尺。

一般河口除上述河流本身水流，潮汐外，更有因潮之漲落，或季風而生之岸流，倘岸流甚強，固亦足以挾持沉沙以去。唯在海河口漲潮時岸流方向爲北西，流速每秒〇·五至〇·二公尺。落潮時岸流方向爲南西，流速每秒〇·六至〇·一五公尺。其力甚小，不勝沖動水底淤沙之用。

另一影響大沽沙之重要而不定因素，厥爲風暴。大沽口常見強風爲北北西。蓋風暴連帶而生者必爲強浪，深槽兩側及淺灘泥沙乃爲波浪激動而填於深槽也。同時潮水及水流之方向及強弱亦與風向風力息息相關。風既非一定，前者種種亦隨而變更；益以兩岸淺灘漸向外移，河流方向亦即時有變更；且每遇風暴或洪水之後，深槽即改線；故欲定一深槽方向視爲固定殊爲困難。如自民前八年大沽沙段取強落潮平均方向北東六七度爲航槽，民國元年因淤淺而放棄，改採南東八四度線。以此對選擇航槽方向，只能就現實存在之自然形成深槽，加以拓寬加深。

現存航道，既甚爲曲折，故設有完善之航行標誌指示之：

(一) 河口段：

(甲) 彎曲前段：南岸淺灘上，石堤端聳立一燈樁，以指示折彎地點。夜燃綠燈。本段東端航道北側，有一紅色浮標。

(乙) 彎曲後段東端南側有一黑色電鼓，夜燃紅燈，亮〇·七秒，暗二·七秒。

(二) 深淵段：

(甲) 內深淵段：本段中心線第一段沿大沽沙段方向，第二段由南岸淺灘上最前前後二標誌指示之：前標誌燈光紅色，亮一·五秒，暗一·五秒；後標誌燈光白色亮〇·四秒，暗〇·八秒。兩折航線交點北側，有紅色四號浮標。本段東端北側位有紅色三號浮標（深淵浮標），夜燃白色燈光；亮〇·七秒，暗二·七秒。

(二) 外深淵段本段中心線及南北邊線，以三組前後標誌指示之，均爲白色燈光。其中心前標誌亮〇·四秒，暗〇·五秒。中心後標誌亮二秒，暗二秒。本段自西端向東一·七公里處南側，泊有紅色欄江沙燈船一艘，其上隨時懸示大沽沙可航吃水深度。

(三) 大沽沙段：內深淵東端以東七五〇公尺，爲黑色一號浮標及紅色二號浮標，南北對置，相距三〇〇公尺，以範圍航道寬度。本段東端以東一·七公里南側，則置有黑色電鼓（進口浮標）；夜現白色燈光，亮〇·七秒，暗二·七秒。本段之方向，則由河口兩岸淺灘前後三組標誌指示其中心及南北邊線，前標誌中心燈光白色，亮〇·三秒，暗〇·七秒。兩邊燈光亦白色。後標誌中心燈光白色，亮二秒暗二秒。兩邊燈光紅色。

海河工程局自民前十三年開始施工，至民前八年次第完成通海河各連河支流開門，及三處截調工程，以增進潮水之進退，縮短航距。由河口通達津埠航路既暢，可容吃水三·七公尺船隻行駛，而是年大沽沙僅可通過吃水二·七公尺以下船隻，乃感改善大沽沙之迫切。爰列述當時所考慮計劃之意見如次：

(一) 築兩平行堤引河水迄深水線：以此法兩堤間需浚挖以維持需要水深，又因岸流過弱，水出堤後流速必減弱，漸將堤口淤淺，故必須時時延伸兩堤。且堤除經常養護外，大沽口冬凌情形甚

嚴重，每年需修理費用。堤之可能位置有二：

- (甲)由深淵東端築堤，延長自然冲刷而成之深槽，以迄深水線。
 (乙)由河口依海河流向穿南岸淺灘，以最近距離至深水線。民國十二年曾據此詳擬為「新槽計劃」，並於次年開工施做，但因故於民國二十年停止。

(二)浚挖現存自然形成深槽：據估計如(一)須以石料築堤，此法每年需款與養護修理石堤費用相埒。

(甲)以斗式挖泥船：此法僅於平水中工作，而大沽口外風浪時作，每年可工作日數甚少。且工作時必於前後左右下錨，藉錨之起落，及錨繩之緊弛移動，帶動範圍小而迂緩，阻礙其他船隻之過往。又以其多轉動部分，養護費大。

(乙)以可行駛之吸泥船：此型工作船較甲型節省燃料，養護費用亦較小，且略有風浪不致影響工作之進行。處置其吸出之泥沙，有數法可用：

一、使通過傍於船側之浮管，送至深水或航槽以外，此法僅適於平水，蓋兩管相接處，不能承受強烈擺動也。

二、裝入另一船艙，然後拖至深水處排出。此法亦受大沽口風浪之限制，因有風浪時，兩船依傍甚難。

三、精吹泥管之作用，裝入吸泥船本身裝備之泥船，泥船乃駛至深水排出。此法以為唯一可用方法。但大沽沙之組成成分極細， ϕ 、 \circ 、 \circ 五粒以下粘土膠質佔百分之五十以上，欲使之完全沉澱約需時二十五分，故泥輪容積須為吹泥管每分鐘工作量之二十五倍，始稱經濟。試以二十四吋徑吹泥管為例，泥輪容積需一五〇〇公方。必如此溢出者乃為清水；不然，吸出泥沙在泥輪中，停留未二十五分鐘即行溢出，仍可能淤積航道中。且一五〇〇公方泥輪，載重約三〇〇噸，在事實上實嫌過大。

茲更將民前八年以來，大沽沙上實際工作情形略述之：

(一)民前八年：試以「北河」號裝置吸泥管浚挖。吸泥管徑十六吋，每秒工作量四五〇公升。在新淤處吸出者，泥沙與水之比為百分之四十，在堅實河床處泥沙與水之比為百分之十。效率甚小。

(二)民前八年至民國二年：以滾式鐵鉗繫拖輪之後，鉗身為一鐵柱長五呎，徑一呎，其上周佈長二吋許鐵齒，使鉗滾轉，於落潮時形來大沽沙上，爬翻泥沙而鬆動之，藉落潮水流之力冲挾以去。當氣候正常，海河含沙量較小時，以此法雖著成效，但終嫌效率太小。每逢汛期或值風暴，深槽迅即淤填，再行開通頗費時日。如民前一年，水深原為一、四五公尺，九月三十日風暴後淤高三公尺，以四艘一五〇匹馬力船工作至年終，迄未恢復原狀。且此方法對新淤泥沙尚見效果，對堅硬壓實河底或粗砂，則無能為力。

(三)民國三年迄民國十年六月：改用自行航駛之「中華」號吸泥船工作。「中華」號吃水二公尺（載煤四〇噸，水一〇噸），行駛馬力二三〇匹，工作馬力五〇〇匹。吸泥管經二十四吋，管端裝置二〇徑徑 ϕ 、七五吋細管，可射出每方吋三十五至四十五磅壓力之水，以冲激水底泥沙，然後吸起。每分鐘可吸泥七〇公方。吸出之泥水，通過一長二一〇公尺洩管至船側。洩管端如五指形狀，以均勻噴散，並破碎泥塊。洩管底半有小孔，過管泥沙中之粗粒者，由孔下墜至船上泥輪中；細者復入海隨水流去。船之左右舢均裝有洩管，於落潮時工作，視水流方向應用左舢或右舢洩管。用此法，泥沙粘土均能吸取。但當吸泥管入河底太深，或觸及堅實淤沙時，以「中華」船之力即感拖動困難，因更佐以撞滾船在前拖「中華」號行進。

自民國四年，逢海面平穩時，更以二容積二一〇公方木船仿「中華」號，承吸出之泥沙。每在大沽沙上來往工作一次，即灌滿拖至深水，以人力排出。但因風浪時作，月不過用一二日。

民國六年八月至十月間，洪水期內，海河輸沙量九，二〇〇，〇〇〇公方，航槽壅高一公尺，數年來工作於此三個月內爲之淤填。

民國七年復試以斗式挖泥船協同工作，亦以風浪關係，甚少應用。

(四) 民國十年七月至民國三十一年：改以能行裝有活底泥輪之吸泥機「快利」號工作。「快利」號泥輪空載時吃水二·七公尺，滿載吃水三公尺。時速一·五公里，行船馬力七〇〇匹，工作馬力三五〇匹，泥輪容積五〇〇公方，每分鐘工作量一·〇四公方。吸泥管徑二十五吋，位於船尾凹入部分中央。工作時，由船底下面向後斜插入河底，管口轉彎向前，船行則拖管吸泥，經吹泥管注於泥輪。

吸泥船發明於民前九年，其後迭經改良，效率既增，復適應各地情形有所不同，其最重要即爲吸泥管之「咀」。「北河」號屢試裝吸泥管工作失敗，即奇未改良者。「中華」號所用咀型「等邊三角形狀，高五呎，取其可以深入軟泥之中也。此外，管個壓上水亦大有助於吸泥動作。「快利」號即以「中華」號之工作經驗而造。其吸泥管之咀，高八呎，狀如匙，端突，彎曲向前，漸上漸大復漸小，吸泥管相連。咀內垂直方向置一經四吋水管，更平行設徑二吋四分之一水管十一條，橫佈咀頭。工作時，咀插入泥中約一公尺，由各水內外洩之水壓力爲每方吋三〇磅，每分鐘壓水二，五五〇公噸。以沖激攪鬆泥沙，使易吸動。

「快利」號本身馬力既大，足以拖動吸泥管，又有較大泥輪，故工作時間不受於落潮，亦不受稍惡劣氣候之影響；凡水深遠所需吃水即可工作。吸泥滿龍即聽其溢流而出。於泥輪設半截隔級三道，以平穩水流促使沉澱。每在大沽沙來往一次，駛至深海排空。泥水量積比前百分之八·五。

民國二十七年：曾試以工作量每小時五四〇公方之斗式挖泥船「帆神」丸由深淵面海方向行挖浚，另一每小時挖泥六七〇公方之斗式挖泥船「野田」丸，由大沽沙東端向河口進行。日夜工作，每日可進行三十四公尺，挖深二·二尺。而「快利」號每日進行四，五〇〇公尺，可浚深一·二五公分。挖泥船所完成者雖較深，但以其限於短距離，今日此段挖深，而昨日所完彼段已淺。不如吸沙船之全段逐漸加深爲宜也。在費用上言，據估計同樣工作量，斗式挖泥船費用爲吸泥船之七倍。

「快利」號之工作民國十三年至民國二十八年統計，每小時可吸泥八〇公方，每一公方泥耗煤三〇公斤。其後迭加改良，民國三十一年每小時可挖泥一三八公方，每公方耗煤一七·八斤，自民國十年至民國二十年，平均每年挖泥一六〇，〇〇〇公方，照民國十八年估計用銀八〇，〇〇〇兩。

(五) 民國三十二年迄今：民國三十二年塘沽新港南防波堤完成。堤自海河北岸起，越淺灘，平行海河入海方向，蓋爲防海河泥沙淤填港內者。堤兩側爲海河口北淺灘，淤益甚，是年年終，計算河口淤墊泥沙爲一一，三二五，〇〇〇公方。

民國三十二年七月與「快利」號大小作用相等之吸泥機器「浚利」號，參加大沽沙疏浚工作迄今。「浚利」號所用吸泥管咀，其端部兩片如刃，非如快利之爲尖形。

「快利」，「浚利」二船於落潮不敷吃水深變時，即停泊於三號浮標之北深水處。每日每船約需煤三〇噸，鍋爐用水二五噸。煤取自塘沽，水利取自新河。爲供應煤水，備有煤船一艘可載煤二五〇噸水船一艘可載水六十噸。煤船停泊海中，「快利」「浚利」則利用停泊時間，間日裝足二日需量。水船則間日輪流供給二船二日之需量。此項煤水船之進出，及船上與陸地之連繫，由吃水一·五公尺，一五〇匹馬力之「浚捷」號任之。

以吸泥機船在大沽沙工作之情形，可歸納得數點：

(一) 工作時間受工作船吃水限制，航槽愈深，工作時間愈可延長。

(二) 新淤泥沙易於吸動，壓實底底卸較費力。如泥沙易於陷流動，吸出後旋即爲四周泥沙填滿，最難見效。

(三) 各處淺淺如凸凹不均則有形成三角洲歧水爲數股，分散水流量之虞，必深挖槽口，順暢水流之勢。

外深潭及與大沽沙段交接處航槽之，水底卽有三角洲，故此處化線在全線中最患，三角洲以北之槽，可能成爲新深槽，用爲新線。

(四) 航槽需要寬度定爲一二〇公尺，與海河平均寬度相等。

(五) 河口原既有北淤南刷趨向，塘沽新港南防波堤完成後，北面水流更緩，淤益甚，故大沽沙深水槽日漸南移。自民國七年來，航槽已向南移一八〇公尺。每次南移，則先需拓寬，使數需要，再浚深全綫。

(六) 每歲必在槽口外疏浚，使足深，以便利撞凌船進出，維持冬季航運。

(七) 每年初冰解，開始疏浚工作前，先行測深，再定工作計劃。蓋冬季往往淤有粗沙。亦有例外，如民國二四年冬，冰積成岸，夾水冲刷，次年測量結果，較上年終更深三英寸。

目前海河內河可通行吃水五·二尺，平均河寬一〇〇公尺。塘沽現有碼頭全長二·八四公里，貨棧〇·三九方公里。天津現有碼頭全長九·三〇公里，貨棧〇·四四方公里。沿河船塢有：招商局大修船所船塢三座，海軍修船所船塢四座，海河工程局在新河及小孫莊共有船塢三座。按海河工程局過去因其權限關係，僅着眼於此段長七〇公里河道之治理；實則海河航運之發展，固繫於上游各河之治理，尤以永定河關係最大，且具決定性。倘永定河治本工程實現，然後於海河口用塘沽新港南防波堤爲北堤，平行此堤更築一南堤，使成爲一直綫新航槽。由天津至海暢通吃水八公尺船隻，增可寬爲一四〇公尺爲施工目標，對全河加以改善。海河來日之發展當注重港口方面：沿河擇適宜地開闢泊船區，增加碼頭及設備，興修貨庫，設船塢及工廠修理船隻。沿海河各處工廠甚多，已有輕工業區雛形，且農室亦富。如航運便別，其前途大有發展也。

註：本文所謂水深，皆指大沽水準基面以下之深度。海河普通高漲水位爲大沽水準基面以上二·四公尺，故本文所記水深，亦二·四公尺即可表示潮水時，可通行船隻之吃水深度。

在大沽沙之水深，稱爲標誌深度，在大沽沙及海河口均設有標誌，表示大沽沙水深。其所標誌水深，爲標誌深度。當時水面高於大沽水準基面之高度，以隨部示知欲通過大沽沙船隻。

附註大沽沙及海河河口深度圖

長江之含沙量測驗

邢維堂 (1)

河流所含之泥沙，其運行情形，可分為推移，(Bed Load)懸移，(Suspension)躍移(Saltation)等三種。本局各水站，均附測含沙量，惟以設備關係，僅測懸移質一種。施測方法，隨流量測量同時舉行，大都將河道斷面水平方向，平均分作四部，每部於水面，半深河底垂直方向，各取水樣一次，經過試驗，確定各點所含沙量(以重量之百分比計算)然後再計算全斷面內之平均值。

在揚子江水道整理委員會時期致力於吳淞漢口間之航道整理，各項記錄，著重於幹流之中下游方面。迨二十四年揚子江水利委員會成立後，以事實上之需要，含沙測驗，亟極擴充，洞庭湖區域各水交站先劃併辦理；並就中下游幹支流，普遍增設水文站，各河流含沙量測驗，乃漸臻普及。惟各站設立時期，遲早不同，統計比較，殊感困難。二十六年抗戰軍興，中下游各站被迫中輟，工作重心，移向上游幹支流，含沙量之測驗，同時舉辦。三十五年勝利以後，中下游各站逐漸恢復施測，全流域各段河道含沙情形，得有概念。

長江上游河道，流經山峽，坡度陡峻，每逢大雨，風化崩裂之少塊岩石，與童山面層疏鬆土壤，經雨水打擊飽和，成為泥漿，相雜奔放而下，迨至水緩流弱，挾持力減，礫石逐段沉積。故上游河底，多為卵石。其浮游之泥沙，則隨水而下，停淤沿江湖泊及江道本身，遂使湖泊容量日減。但河道本身停淤之泥沙，一遇水漲流速，仍被沖激而起，與兩岸崩潰之泥土，載沉載浮，以入於海。一部為潮汐所阻，停積江口，致江口附近暗沙起伏靡定者在此，神灘其最著者也。

今將各站歷年所測成果製成最大最小及平均含沙量表，輸沙量及總流量統計表，以明一斑。每當高水時期，水流迅速，含沙量筒不能深入河中，採取水樣。故所得之最高記錄，是否可以代表；河水含沙隨時隨地互異，各測站在河道各段與流量同時施測之含沙量，固可代表某一時期某處河水之含沙情形，然以之平均泛論於全河道，其精確程度是否已足適合；以及推移質，躍進質等測驗，尚未舉辦；故詳細分析與統計，尙有待設備完全，記載詳確，及長時間之測驗也。

註：關於長江流域水文資料請參考長江水利季刊一卷一期(水文統計專號)

(表一)長江流域各站逐年輸沙量及總流量統計表
(輸沙量以萬立方方計，總流量以億立方方計)

測站	河名	年份 類別	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
			宜昌	長江	輸沙量						13840	12200			
		總流量						2390	2430						
瀘縣	長江	輸沙量						20640	5300						
		總流量						2770	2000						
重慶	長江	輸沙量							17300						22200
		總流量							3680						3520
清陵	長江	輸沙量						14200	4160	5000					21400
		總流量						3980	3820	3990					3980
宜昌	長江	輸沙量													
		總流量													

(1)長江水利工程總局工務處處長

測 站	河 名	年 份	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		項 別													
枝 江	長 江	輸沙量				43350									
		總流量				5860									
城 陵 磯	長 江	輸沙量				14300									
		總流量				8760									
大 通	長 江	輸沙量			24720	33000									
		總流量			10300	13000									
巧 家	金沙江	輸沙量											3660	(-)	(-)
		總流量											1250		
屏 山	金沙江	輸沙量												30000	13960
		總流量												2170	1400
安 邊	金沙江	輸沙量													5160
		總流量													2260
樂 山	岷 江	輸沙量							(-)						
		總流量													
高 場	岷 江	輸沙量						1990	2580	2140					
		總流量						820	930	770					
赤 水	赤水河	輸沙量							690						
		總流量							100						
昭 化	嘉陵江	輸沙量										2500	1480	2240	4620
		總流量										200	180	190	470
南 部	嘉陵江	輸沙量										1570	930	700	1100
		總流量										220	170	130	160
武 勝	嘉陵江	輸沙量													3400
		總流量													280
北 碚	嘉陵江	輸沙量										21400	11120	30900	16800
		總流量										760	610	1220	1050
蒼 溪	東 河	輸沙量										40	70	51	
		總流量										50	65	60	
彭 水	黔 江	輸沙量							880						
		總流量							490						
新 口	松滋河	輸沙量				5000									
		總流量				620									
太 平 口	虎渡河	輸沙量				1400									
		總流量				250									
藕 池 口	藕池河	輸沙量	4730	3060	1820	5200									
		總流量	910	780	510	970									
藕 池 口	安鄉河	輸沙量	3470	1480											
		總流量	460	350											
調 弦	華容河	輸沙量	340	330	180	490									
		總流量	110	100	70	120									
零 陵	湘 江	輸沙量								120	110	180			
		總流量									260	220	190		
衡 陽	湘 江	輸沙量								150	140	120			
		總流量									490	460	410		
湘 潭	湘 江	輸沙量			530										
		總流量			1060										
靖 港	湘 江	輸沙量													
		總流量													
興 安	靈 渠	輸沙量										2	0.8		
		總流量											1	1	
興 安	海陽河	輸沙量								6		20	4		
		總流量								7		9	7		
零 陵	瀟 水	輸沙量									33	41	190		
		總流量									75	110	100		

測站	河名	年份 項別	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
			東江	未水	輸沙量 總流量									(-)	
衡陽	未水	輸沙量 總流量									42 120	23 100	29 120		
衡陽	蒸水	輸沙量 總流量									10 20				
益陽	資江	輸沙量 總流量	150 160	490 500	122 270	123 266									
托口	沅江	輸沙量 總流量								80 120	58 120				
黔陽	沅江	輸沙量 總流量								240 200	95 170	233 260		150 300	
辰谿	沅江	輸沙量 總流量						220 370	260 255						
沅陵	沅江	輸沙量 總流量						720 600	920 390	130 450					
常德	沅江	輸沙量 總流量	680 710	1840 1220	360 590	580 750									
托口	渠水	輸沙量 總流量								30 43	32 42				
黔陽	魚水	輸沙量 總流量						(-)	60 47	23 47	126 95	35 72	57 75		
洪江	巫水	輸沙量 總流量						(-)			237 74	58 73			
辰谿	辰水	輸沙量 總流量						(-)	20 40						
沅陵	酉水	輸沙量 總流量						(-)	117 130	56 33					
澧縣	澧水	輸沙量 總流量	350 180	464 280	385 190	394 250									
岳陽	洞庭湖	輸沙量 總流量		5550 5940	2340 3410	3400 3110									
白河	漢水	輸沙量 總流量		2360 260											
鄖陽	漢水	輸沙量 總流量		2330 400											
襄陽	漢水	輸沙量 總流量	5990 540	5050 620		1070 760									
鍾祥	漢水	輸沙量 總流量	10300 660	6910 880											
澤口	漢水	輸沙量 總流量	11540 640	3600 310		10470 710									
新漢	漢水	輸沙量 總流量	577 420	840 200		4900 500									
桂林	桂江	輸沙量 總流量							52 38						
平樂	桂江	輸沙量 總流量							54 130	53 140					
大溶江	霍渠	輸沙量 總流量							2 5						
平樂	樂江	輸沙量 總流量							10 45	18 46					
平樂	荔江	輸沙量 總流量									6 24				

河流泥沙測驗方法之研究 * *

陳椿庭* 節譯

弁 言

河流之挾帶泥沙，對於防洪，水土保持，灌溉，航運，水電等水利計劃，常為極關重要之問題。泥沙問題之基本研究工作，厥為採取足實代表之試樣，分析其顆粒大小之組合，及含量之多寡，並推求全河流域之泥沙運輸量。此一工作，各家所作已多，惜以缺乏聯繫，所用之採樣器，採樣方法，分析方法等，類多差異。故所得結果，應用比較，頗不利便。

基於實際之需要，美國諸工程及學術機關，乃合組研究會，從事研究此項最基本之測驗工作。合作之單位，計有：美國內政部之地質調查所，印第安事務所，墾殖局，農林部之防洪委員會，軍部之陸軍工程師團，T. V. A., Iowa 水工研究所等，各派員參加，而由 E. W. Lane 教授領導主持，在 Iowa 水工研究所進行研究。Iowa 陸軍工程師分局，及 Iowa 大學水力實驗室之工作人員，均襄助其事。所出研究報告九種，擬定題目為：(1)懸移泥沙之採樣方法及設備，(2)推移泥沙及河床組成物之採樣設備，(3)懸移泥沙採樣方法之分析研究，(4)泥沙試樣之分析方法，(5)懸移泥沙採樣器之室內考驗，(6)懸移泥沙採樣器改良型式之設計，(7)懸移泥沙顆粒大小分析新法之研究，(8)河流輸沙量之測定，(9)水庫內淤積泥沙之密度。

河流內泥沙之運動，要有：懸移，推移，躍移之別。懸移泥沙 (Suspension Sediment) 為水流之湍動 (Turbulence) 所支持而不墮，與水流以同一速率前進，於較長之時間內不與床壁相接觸。推移泥沙 (Bed-load) 緊貼河床，以滾動或滑動方式徐徐前進。躍移泥沙 (Saltation-load) 介於二者之間，間歇的與河床相接觸，跳躍前進。躍移泥沙常混入懸移泥沙及推移泥沙之採樣器內，尚不克單獨得其試樣，運動之法則，亦未大白。故研究會之工作，先就懸移泥沙及推移泥沙之採樣設備及方法，作廣泛而詳盡之搜羅，整理比較之，試驗研究之；進而設計採樣器及分析器之改良型式；並提供測定含沙量及輸沙量之合理方法；以冀此項最基本而重要之泥沙研究工作，能獲致改進，而趨於統一。

研究會之第一報告至第八報告，自成完美之一組。蓄水庫淤積泥沙之密度，亦為泥沙問題之基本資料，原著者以材料齊全，編製方便，乃將私人著作，亦列入研究會之報告，以第九報告名之。

* * * "A study of methods used in measurement and analysis of Sediment Loads in Streams" Planned and Conducted Jointly by, T. V. A., Corps of Engineers, Department of Agriculture Geological Survey, Bureau of Reclamation, Indian Service and Iowa Institute of Hydraulic Research.

* 中央水利實驗處研究員

我國黃河爲患，亘數千年，下游豫，冀，魯，皖，蘇諸省，人民被患之重，實難勝述。究其原因，厥爲黃河狹帶泥沙過豐，洪峯猛聚，乃以善淤，善決，善徙，著稱於世。故黃河泥沙問題之嚴重，舉世實罕有其匹。美國河流之泥沙問題，遠較黃河爲次要，該研究所研計之問題，亦僅爲基本法則，而非極重大之實際問題。但有關之機關，均能慎重合作，動員專家多人，耗數年之時間，出版巨帙報告，其精神實至堪欽佩。筆者爰就該會已出版之第一，二，三，四，五，七，九諸報告，扼要介紹如后，概亦攻錯他山之志耳。

第一報告

懸移泥沙之採樣方法及設備

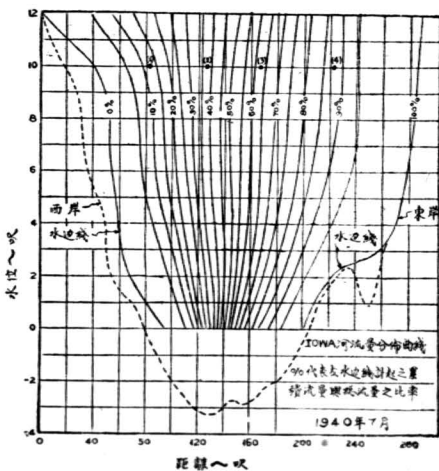
本報告搜集各家所用之懸移泥沙採樣方法，自 1808 年以迄 1940 年，共凡 56 種，包括美，法，德，芬蘭，瑞典，意大利，中央亞細亞，土耳其，伊拉克，阿富汗，印度，中國，埃及，南非，阿根廷等十五國別。採樣方法，可分河流斷面內垂直測線之定位，測線上測點之選擇，採樣之距離等三方面述之如次。

測線 河流斷面內橫向之泥沙分佈，變差頗小，故測線之定位問題，較不嚴重。普通常用之定位方法，計有：(1) 河之中央一線，(2) 河之最深處一線，(3) 1/4, 1/2, 3/4 河寬處三線，(4) 1/6, 1/2, 5/6 河寬處三線，(5) 四條以上等距之測線，全斷面之平均含沙量，按測線所代表之部份流量爲權數 Weight 求得之，(6) 將全斷面劃分爲流量相等之諸部份，定測線於此等部份寬度之中央全斷面之平均含沙量，即爲諸測線上平均含沙量之算術平均。

上列諸法，當以後二者爲可靠，經驗充足時，尤以定測線於等流量部份之中央爲最合宜。1/4, 1/2, 3/4 河寬之三線法，以簡捷之故，亦頗有採用。E.W.Lane 教授合等流量部份中線法，及

下節之 Luby 氏測點選擇法，得決定測線位置之新法。氏以斷面內已有之水位～流量分佈曲線爲根據，如第一圖。當測線之數目決定後，由一岸計起之各線所代表之流量累計百分數，立可計得。例如：測線四條者各代表累計流量爲 12.5%，37.5%，62.5%，及 87.5%。連同已知之水位，於第一圖選即定得諸測線之位置。(圖中 4 點，爲水深 10 呎時之情形)。

測點 測線上由水面以迄河底之泥沙之選擇 垂直分佈，變差頗鉅，故測點之選擇，至關重要。普通之任意法及經驗法，計有五種：(1) 水面一點法(加係數校正或不予校正)，(2) 0.6 水深一點法，(3) 水面及河底各一點，等權平均，(4) 水面，半深，河底三點法，等權平均，(5) 水面，半深，河底三點法，按 1:2:1 之權數平均之。



第一圖 Lane氏測線定位法

精密之研究，可於測線上按等間隔施測多點（例如十點），泥沙之分佈情形，因可大白，惜費用過鉅，不合經常觀測之用。常用之合理選點法，計有下述三種。

L.G. Straub 根據測線上流速垂直分佈曲線之公式，得測點含沙量應有之權數，由此求得之加權平均值，代表測線之平均含沙量，當較可靠。Straub 氏法之簡式，為於 0.2 及 0.8 水深處施測二點，其權數各定為 3.8 及 5.8。

J.P. Luby 將測線上之流速垂直分佈曲線，劃分成面積相等之若干部份，每一測點，即位於等面積部份之重心。故測點所代表之流量，均為恆等，其含沙量得等權平均之。測點數目與相應之流量累計百分率之關係，同上節之 E.W. Lane 法，五測點所代表之累計流量，由上至下為 10%，30%，50%，70% 及 90%。

積深法 (Depth-integration Method) 用進水緩慢之採樣器，沿測線上下運動，以測取整個水深之試樣。此法於 1874 最年先為 Allan Cunningham 用於印度之 Ganges 渠。惟流速之垂直分佈，及開始採樣時之急衝進法 (Inrush)，必須審慎顧及。

採樣 採樣之期距 (Frequency of Sampling)，指連續二次採樣所間隔之時間而言。影響採樣期距之因子，計為：研究目的，測驗費用，及含沙量之變差等三項。後者又有瞬時的 (Instantaneous) 及長期的二種。含沙量之瞬時的變差，為水流因激動作用而引起之脈動現象 (Fluctuation)，可藉較長時間之進注作用平衡之。長期的變差，則因子繁夥，如風暴之特性，流域之大小，地形，耕種，土壤，地質，及河流之特性等，至為錯綜而複雜。

採樣之期距，特着重之為採樣方法中極重要之問題，惜未克獲致合理之解決方法。現行法則，為規定一經常之觀測期距，由每日二次以至每週一次，視各可情形而定。洪水期內，則另行加勤，尤以漲水期為甚。

懸移泥沙 本報告搜集各家沿用之懸移泥沙採樣器，都凡 65 種，大別之可分成六類，計為：採樣器 (1) 直管式，(2) 瞬時法直式，(3) 瞬時法橫式，(4) 瓶式，(5) 積時法，(6) 抽水法等。此外另有光電池分析法，直接由通過泥沙之光之強弱，以定含沙量之數值。採樣及分析，二者合併成一。惜以沙粒之透光程度既有差異，形狀大小等復均有關係，向未能設計完善。

抽水法採樣器，雖已為最著名之測站所裝用，亦尚未發展至普遍採用之境界。Rock 島所用之積時法採樣器，較為新穎，茲介紹如次：如第二圖，器分上下二部，均成流綫型，並有尾舵。上部中心為一澗形水路，斷面積約 3 平方呎，長約 18 吋，中途設有活栓，控孔斷面積水與路相等，由電氣控制，可自由啓閉。下部置盛器，以受試樣。水路流通時，流水之進入水路，至為順利，幾無阻擾。活栓轉 90° 水路斷絕，活栓部份之水樣，乃注入盛器。如此迭次交替啓閉，下部之盛器，乃累積而得積時法試樣。

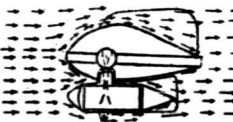
採樣器 現有之懸移泥沙採樣器，各具細點，其應用範圍，頗多限制。理想之採樣器，必須具備之條件 12 條件，臚列如下，以作設計採樣器改良型式之準則。



Q 號燈罩滅

水由採樣孔道流過，
水阻不受阻擾。

旋轉活栓



Q 號燈罩亮

活栓孔內之水樣進入下部之盛器，此等少量之水樣多次累積乃得所高之試樣。

第二圖 Rock 島積時法採樣器

- (1) 採得之試樣，必須足為測點在該一時間之泥水代表。
 - (2) 採樣器不可擾動水流之原型，以免泥沙析離，而影響含沙量之大小。
 - (3) 採樣器必須啓閉自如，由測點採得之試樣，不受他處泥水之影響。
 - (4) 試樣之體積，必須足敷粗細分析，及測定含沙量之用。
 - (5) 採樣器須適用於任何水深之河流，測線上由水面至河底之任意一點，當均可施測。
 - (6) 淺水涉渡，深水時在測橋或汽輪上工作，採樣器均須適用。
 - (7) 採樣器須能於最少之時間內，採得整個橫斷面內各點之試樣。
 - (8) 採樣器須為流綫型，面如有重錘者，於深急之流水中，與垂直測綫之偏角應為最小。
 - (9) 設計及構造，應力求簡單，以符合價格低廉，保養簡易，及實地修理便和之要求。
 - (10) 試樣之盛器，須能拆卸，逕即攜歸試驗室中分析之，以免泥沙於換瓶時有損失。
 - (11) 試樣之盛器，以玻璃瓶為宜，俾便觀測泥沙之沉降情形，惟須設法保護，免令撞破。
 - (12) 試樣之採取，須能於一瞬間或較長之時間內為之。
- (譯者註：第一報告原文於 1940 年 8 月出版，共附 74 圖，9 表，參攷文獻 57 篇。)

第二報告

推移泥沙及河床組成物之採樣設備

美國河流之推移泥沙問題，較懸移泥沙問題為次要，故採樣器之種類較少，變差亦較小。但採樣之技術，實更困難，採樣器之校訂工作，幾與測驗工作同樣重要，本報告概分推移泥沙採樣器，採樣器之校訂，及床質採樣器等三方面論之。

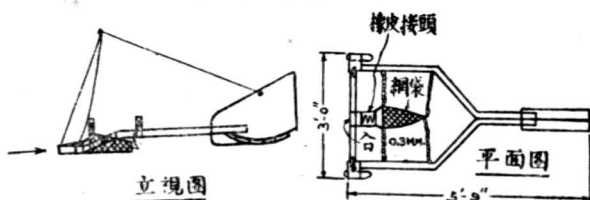
推移泥沙 推移泥沙之採樣，必須將河床劃出一部份，設法將此一部份河床於一定時間內之滾採樣器。動或滑動泥，全部捕得之。本報告搜集 1898 年以來之各家採樣器，計凡 21 種，概別之為匣式，盤式，壓差式等三類，略如下述。

(a) 匣式 (Box or basket type) 如 1931 年 K. Luder 式，匣之前端有一可啓閉之蓋板，後有排沙所用之孔口，尾部有舵，頂部有活動之鉸板，亦可啓閉。採樣時泥水由前端入器，沙停器內，水由頂部流出。採樣期滿後（例如五分鐘），可關閉提出之。他如陳舊之 Davis 氏式，僅為前端及頂部開口之方鐵盒而已。

(b) 盤式 (Tray or pan type) 以用於蘇聯為多，如 Losievsky 氏式，及 Polyakov 氏式，均用斜板導流上

昇，所挾之泥沙，即跌入斜板下方之孔穴，或為特設之隔板所截留。

(c) 壓差式 (Pressure difference type) 如第三圖及第四圖，器之入口，漸行擴大，因壓差作用而引泥水入器，效率



第四圖 荷蘭式採樣器

可較高。第三圖為蘇聯水工科學研究所所設計，與 Polyakov 氏鑿式極近似，惟改裝喇叭口後，效率大增。第四圖為荷蘭式，前為入口，中為橡皮連接段，斷面漸行擴大，尾部為網袋，網眼約 0.2~0.3 公厘 (mm)，用以盛沙而洩水。

此外尚有槽孔式 (Slot type)，如美國水上保持局於南 Carolina 州之所築。該局於 Enoree 河內鋪築長達 100 呎，橫跨整個河寬之混凝土槽底一段，用隔牆分成 14 孔道，各寬 5 呎，均開有與道等寬 (5 呎) 之槽孔，設有活門，可司啓閉。跌入槽孔內之泥水，用抽水機抽至岸上析離測定之。河流之推移泥沙，既可全部捕得，且可供校訂採樣器之用。

Ludwig Mulhfor 所述德國 Inn 河之槽孔式採樣器，係於灘地用礫石砌成之孔穴。盛漲期內，孔穴為洪水所沒，推移泥沙因即沉入，可於洪水退落後，挖取測量之。此法所測得者，僅為洪水期內推移泥沙之總量，時間單位，難作確定。

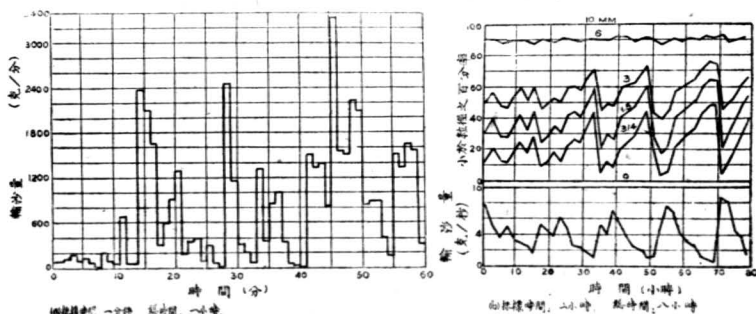
理想之採樣器，須能緊貼河床，其入口對上游之水流及泥沙之進入器內，不生阻礙。泥沙之沉析，以用格柵 (Screen) 為佳。山區河流之床質為礫石者，以匣式為宜。平整之沙床，輪沙緩慢而集中於河床者，宜用鑿式。普通之沙質河床，以壓差式為最合宜，入口小，框架靈活，能適應崎嶇之河床者，更可滿意。

推移泥沙採樣器之校訂工作，與測驗工作之本身同等重要。茲述 Shamov, Einstein, 樣器之校訂 Ehrenberger 三氏之校訂工作如次：

(a) Shamov 氏校訂 G.I. Shamov 校訂 Losievsky 氏, Dolyakov 氏及蘇聯水工科學研究所 (第三圖) 之採樣器，於人工水槽內行之。推移泥沙之真確輸量，可於槽尾測定。結果得：水工研究所採樣器之效率為 75%，Polyakov 氏及 Losievsky 氏採樣器，各為 46% 及 38%。氏認為第三圖之喇叭式入口，極為有利。斜板之逼泥水上昇，可使泥沙積於板上，或向兩側滑逸，似頗不利。Polyakov 氏之傾斜隔板，則稍優於 Losievsky 氏之孔穴。

氏之試驗，並證明流速於 1.3~1.75 呎/秒 (0.4~0.5 公尺/秒) 間漸增大，效率亦漸提高。流速超過 2.1 呎/秒 (6.64 公尺/秒)，則效率隨流速之增加而降低。

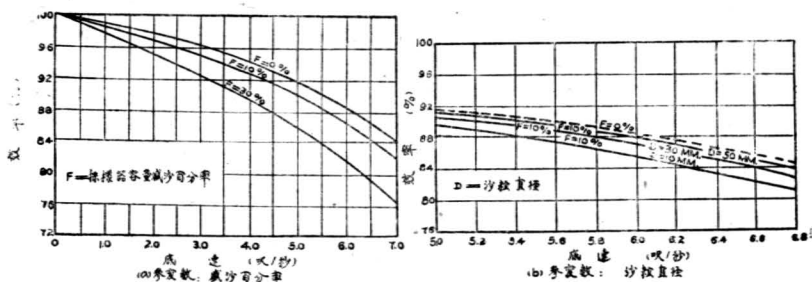
(b) Einstein 氏校訂 H. A. Einstein 於人工水槽內測定 Nesper 氏採樣器之效率，用 1:10, 1:5, 1:2.5 等三種模型，試槽內之水深，沙粒直徑，推移泥沙運輸量等，均可任意改換。試驗結果，未克獲致確切之結論。一般言之，Nesper 氏採樣器之效率，平均約為 45%，輸量高者，採得之細沙較多，輸量低者，採得之粗沙較多。又盛接之沙量，不當超過容積總量之 1/3。



第五圖 推移泥沙之波動變差

推移泥沙之波狀運動，為採樣時間較短時，誤差之主要來源。氏測得1小時及8小時內之波動變差情形，如第五圖 (a), (b) 所示，波狀運動之完全週期，約為16小時。

(c) Ehrenberger氏校訂 R. Ehrenberger 氏對其本人之採樣器，於試驗室中校訂之，結果如第六圖。效率較一般為高，要係採用金屬底板之故。



第六圖 Ehrenberger氏採樣器之效率

床質 河床組成物之採樣器，概可分為拖斗式 (Drag-bucket type), 直立式 (Vertical sampler type), 夾斗式 (Grab-bucket type) 等三類。拖斗式為一普通之開口鐵筒，拋入河底後，用繩索拖曳，沿底刮取沙樣。直立式用直立之重管取沙樣，如 Stollwagen 杯式，下端為一空心圓錐，上端為鉛重，中部連接桿上有一滑動之橡皮圓片，此器拋入水中後，橡皮片被迫上移，空錐乃得滿盛沙樣，提起時橡皮片下移，遮蓋空錐之頂，可免沙樣被水沖失。夾斗式為可分合之二鐵斗，下水時左右分開，着度底後即左右合攏，採得沙樣，用繩索吊起之。

拖斗式僅可適用於淺水，夾斗式則應用最廣，惟遇有粗沙粒夾入二斗縫之間時，細沙可能大量流失，是其缺點。

(譯者註：第二報告原文於1940年9月出版，共附45圖，參考文獻21篇。)

第三報告

懸移泥沙採樣方法之分析研究

第一報告內述測線上測點之選擇，任意性及經驗法頗不精密，合理之方法，計有 Straub 氏法，Luby 氏法，及積深法。由此等方法計算測綫之平均含沙量，其精度若何？所附之誤差約有幾何？茲特分析研究之。

本研究假定測點法或積深法所得之試樣，已堪作為施測點或施測水深內之代表，採樣時之急衝進注及脈動作用，均已予消除。次設測綫上泥沙之垂直分佈，為懸懸理論 (Turbulence-suspension Theory) 所支配，流速垂直分佈曲綫，可採用 Von Karman 公式。專就河流內之懸移泥沙為對象，各種施測方法 (即測點選定法) 所求得之測綫平均含沙量，與理論曲綫之結果相比較，乃得所附誤差之值。過去之測驗結查，因條件不足，未定其誤差。未來之工作，如採樣器及方法之選擇，測站應注意之基本條件等，可藉此獲得準則。條件齊全時，測驗結果之誤差，當可求得。

試樣之是否堪為測點之代表？分析所用之理論曲綫，是否吻合實際情形？於應用本報之理論分析結果之前，必須詳予致核之。

懸移泥沙垂
直分佈之理論

測線上泥沙含量與激率 (Turbulence degree) 之關係, 最先於 1933 年爲 O'Brien 氏所發表, 後爲 Christiansenc, Richardson, Rouse 諸氏所證

實, Lane 及 Kalinske 二氏, 並求得其公式爲:

$$\text{Log}_e \frac{\bar{N}}{N_a} = -c \int_a^y \frac{y \cdot dy}{\epsilon} \quad (1)$$

其間 \bar{N} 爲測線上任意一點之泥沙濃度或含量, N_a 爲已知點 a 之含量, c 爲沙粒於靜水中之沉速, y 爲河底至測點之水深, ϵ 爲動量傳遞係數 (Momentum Transfer Coefficient)。 ϵ 確定以後, (1) 式乃可繪成曲綫。由 $\tau = (D-y)wS$ 及 Prandtl 氏之 $\tau = \rho \epsilon (d\bar{v}/dy)$, 得:

$$\epsilon = \frac{(D-y)wS}{\rho (d\bar{v}/dy)} \quad (2)$$

其間 τ 爲兩層流體間之單位剪力, ρ 爲流體之單位密度, \bar{v} 爲水流方向流速之脈動平均值, D 爲水之全深, w 爲流體之單位重量, S 爲能坡。

觀 (2) 式, 必當流速之垂直分佈曲線確定後, ϵ 乃得代入 (1) 式, 以求泥沙之垂直分佈曲線。流速之垂直分佈, 種類繁夥, Von Karman 之粗糙管路流速分佈公式, 可與多種水道之情形相合, 本報告即據以爲準。氏之式爲:

$$x = \frac{\bar{v}}{V_m} = 1 + \frac{1.42}{C} (1 + \text{Log}_e x) \quad (3)$$

其間 V_m 爲測線上水流方面之平均流速, x 爲流速比率 (\bar{v}/V_m), C 爲 Chezy 氏係數, z 爲水深比率 (y/D)。 (3) 式繪成曲綫, 如第七圖之“A”組曲綫, 及第八圖之實線。惟事實上流速於河底爲零, 最大值則在水面之下, 故第八圖中修正之如虛綫所示, 曲綫下之面積, 未有改動。

將 (3) 式及 (2) 式代入 (1) 式, 得:

$$\bar{N} = \bar{N}_a e^{-16t(z-a)} \quad (4)$$

如以已知之河底含沙量 \bar{N}_0 爲準, $a=0$, 則改爲

$$\bar{N} = \bar{N}_0 e^{-16tz} \quad (5)$$

式中 t 爲無單位之參變數, 如下式:

$$t = \frac{C}{\sqrt{\tau_c} / \rho} = \frac{0.0086 c}{m \cdot V_m} = \frac{0.0057 c C}{V_m} \quad (6)$$

其間 $m = n/D^{1/6}$, 代表相對糙率。(5) 式依 t 值繪圖, 得第九圖之諸曲綫。

(3), (4) 兩式相乘, 依水深積分之, 得單位河寬內流速爲 c 之泥沙運輸量 W , 式爲:

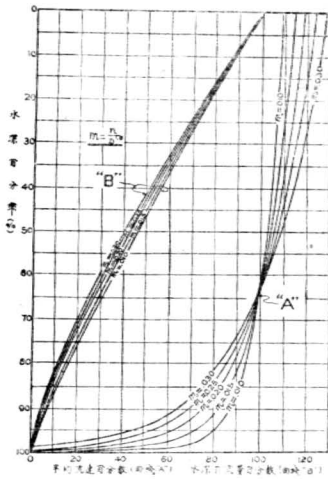
$$W = P \cdot V_m \cdot D \cdot N_a \cdot e^{-16ta} \quad (7)$$

其間 P 爲測線橫斷平均含沙量 \bar{N}_m 與河底含沙量 \bar{N}_0 之比值, 即 $\bar{N}_m = P \cdot \bar{N}_0$, 如下式:

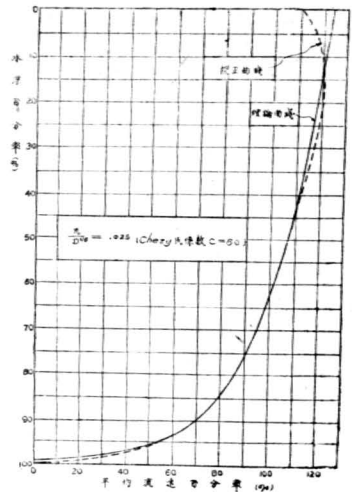
$$P = \left(1 + \frac{14.2}{C}\right) \int_0^1 e^{-16tz} dz + \frac{14.2}{C} \int_0^1 e^{-16tz} \text{Log}_e z dz \quad (8)$$

式中 P 值爲參變數 t 及 Chezy 氏係數 C 之函數, 可繪成第十圖之諸曲綫。測線平均含沙量 \bar{N}_m , 則可由 (7) 式 W 值以單位流量 ($V_m \cdot D$) 除得之:

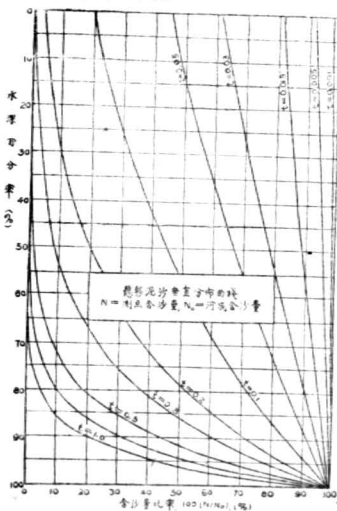
$$\bar{N}_m = P \cdot \bar{N}_0 = P \cdot \bar{N}_a \cdot e^{-16ta} \quad (9)$$



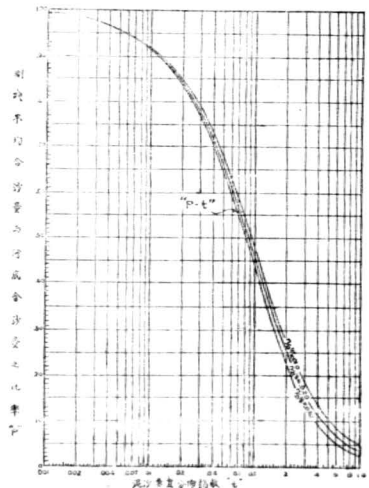
第七圖 糙率與流速垂直分佈及流量垂直累計之關係



第八圖 理論流速垂直分佈曲線之校正



圖九圖 懸移泥沙垂直分佈曲線



第十圖 懸移泥沙濃度比率 P 與垂直分佈指數 t 之關係

上列諸式，符號上加橫劃“一”者，代表該量之脈動平均值，不另詮釋。

採樣方法 採樣方法之精度，以各種測點選定法所求得之測線平均含沙量，與(9)式按理論精度之分析曲綫算得之真確平均含沙量相較之誤差表示之。各項控制因素之變差範圍如下：流速 V_m , 0.5~1.5 呎/秒；相對標準率 m , 0.01~0.03 (Chezy 氏 C 爲 150~50)；沙粒之直徑, 0.01~0.65 m.m.。各項方法之精度比較，僅以某專一之粒徑或流速爲限。

第一報告中較佳測點選定法，經指出爲 Straub 氏法，Luby 氏法，積深法等三種。現有之採樣器，僅 Rock 島採樣器較接近於積深法之要求。茲將此三種方法之精度比較，列成第一表以明之。

第一表 Straub 氏法，Luby 氏法積深法精度之比較

誤差之最大限界	沙粒直徑 m. m.	誤差不超出限界之許可最小流速 (呎/秒)		
		積深法，Rock 島採樣器， 水深 15 呎，可達 98.4%	Luby 氏五點法	Straub 氏 0.2, 0.8 水深法
5%	0.010	0.5	0.5	0.5
	0.050	1.25	0.5	0.5
	0.115	2.6	2.0	0.85
	0.35	4.5	10.0	5.0
10%	0.010	0.5	0.5	0.5
	0.050	0.75	0.5	0.5
	0.115	2.0	1.25	0.75
	0.35	3.5	6.5	4.5
20%	0.010	0.5	0.5	0.5
	0.050	0.5	0.5	0.5
	0.115	1.25	0.9	0.65
	0.35	2.75	4.5	4.0

一般言之。當其他之條件相同時，沙粒之直徑愈大，誤差亦愈大，相對標準率及流速愈大，誤差則愈小。故第一表中所許可之流速最小，方法乃爲最佳。細察表中之數值，可見粒徑小於 0.115 m.m. 者，Straub 法適用之範圍最廣，更大之粒徑，以積深法之範圍爲廣，Luby 氏法則介乎其中。惟 Straub 氏法施測二點，試樣之分析亦爲二次。Luby 氏法施測五點，試樣可合併成一次分析之。積深法所用之採樣器，必須使進注速率約與流速相等，水深不宜過大（小於 20 呎），且須能直達全深之 95% 以上。積深法之進注速爲恆等者，僅於極少數之條件下爲有利，一般情形概頗不宣。

測線之上 以上所述，均專指某一號沙粒直徑言之。當試樣之顆粒大小組成曲綫已予求得，可酌含沙總量 量分成多段，每數用一平均粒徑代表之，其含量依此等沙粒所佔總量之百分率爲權數平均之，乃得測線之上含沙總量，即普通所指之測線平均含沙量是也。

本報告就細中粗三種沙樣比較之。細沙之限制最寬，較易獲致精確之結果，中沙之限制次之，粗沙之限制最嚴，極易發生誤差。精密之方法，亦未必適合於各種條件。

水面下一水深所測得之一點法含沙量，可加校正係數校正之，使成測線之平均含沙量。其間以 0.6~0.80 水深間測點之校正係數，較近於 1。惟本法之應用，尙有待於繼續之研究。

(譯者註：第三報告原文於 1941 年 11 月出版，共附 20 圖，7 表，參攷文獻 11 篇。)

第四報告

泥沙試樣之分析方法

本報告之試驗對象，計有：懸移泥沙，推移泥沙，淤積泥沙等三類不同之試樣。除顆粒大小分

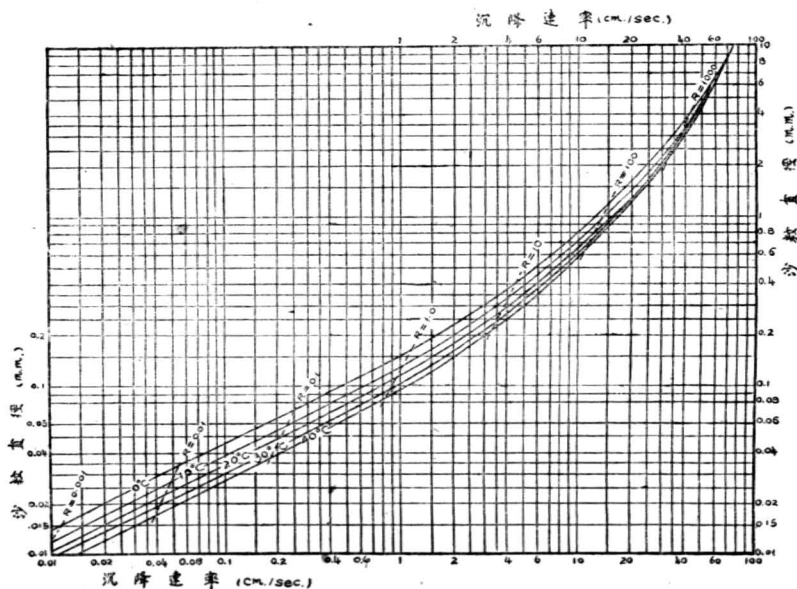
析爲三類共通之試驗項目外，推移泥沙須設法求其乾重量，以定單位時間內之輸沙量。懸移泥沙則須測定泥水內之含沙百分數或百萬分數 (p. p. m.)，濃度過低時，工作頗爲困難。

關於顆粒大小分析及含量之測定，各家所用之方法，至爲繁夥，尤以前者爲甚。本報告廣集各家之意見及方法，並予分析比較，以供工作者之參考，藉免重複。低濃度之簡捷而準確之測定方法，亦冀能藉此奠定基礎。

流體內顆 泥沙粒徑之小於 1/16m.m. (約相當於 200 號標準篩孔)者，其顆粒大小組合分析，粒之沉降 常以流體中之沉速爲根據。近日之趨勢，對於粒徑較大之泥沙，例如至 10 m.m.爲止，亦多藉水中之沉速分析之。影響沉速之因子，在沙粒本身者，計有顆粒大小，形狀，密度等三項。沙粒之形狀，常極不規則，用直徑表示顆粒之大小，因多困難。泥沙問題之最重要者，厥爲泥沙於水中之沉積問題，故沙粒之沉降直徑 (Sedimentation diameter)，實用上頗爲便利。與沙粒等密度之球體，其沉速與不規則之沙粒相等者，此球體之直徑，即爲該不規則沙粒之沉降直徑。H. Heywood 定帶積常數 $K = \text{顆粒體積} \cdot d^2$ ，面積常數 $f = \text{顆粒表面積} \cdot d^2$ ，以明顆粒渾圓之程度。其間 d 爲沙粒於最穩定情形下，投影面積化成等圓後之直徑。

1851年 G. G. Stokes 最先發表密度爲 ρ_1 (克/公分³)，半徑爲 r (公分)之球體，於密度 ρ_2 (克/公分³)，滯性爲 μ (達因-秒/公分²)之流體內沉下，其終極之恆等速率 V (公分/秒)爲：

$$V = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho_2)g \cdot r^2}{\mu} \quad (10)$$



第十一圖 石英球粒於水中之終極沉降速率

其間 g 爲地引加速率 (公分/秒²)。設將 $g=981$, $\rho_1=2.65$, $\rho_2=1$, 直徑 $D=2r$, 代入上式, 可得:

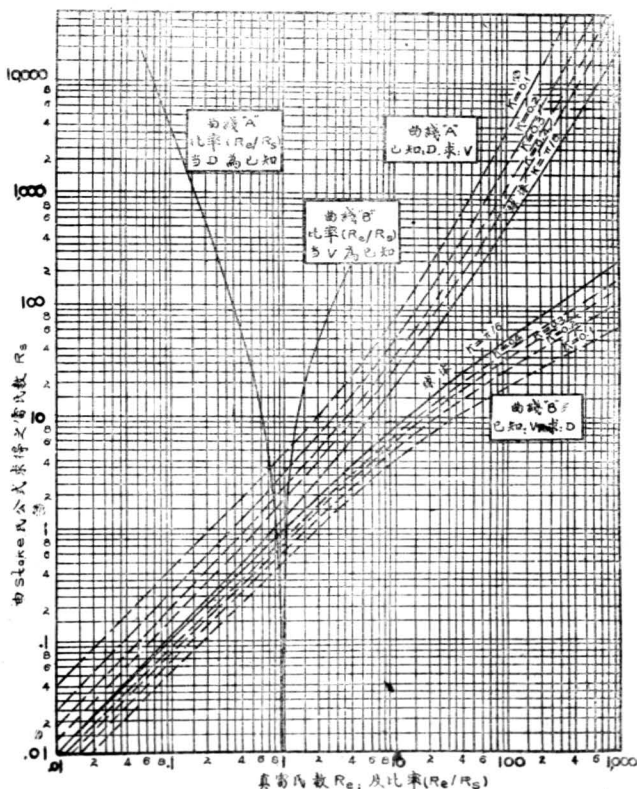
$$V = 89.83 \cdot \frac{D^2}{\mu} \quad (11)$$

及

$$D = \sqrt{V \cdot \mu / 9.478} \quad (12)$$

Stokes 氏公式假定沙粒爲球體, 沉降之阻力, 則全部由於流體之滯性力。基於後一條件, 雷氏數 $R = DV\rho_2/\mu$ 必當小於 $0.1 \sim 0.4$, 或沉速 V 小於 $0.2 \sim 0.6$ 公分/秒, 或粒徑 D 小於 $0.05 \sim 0.0m.m.$ (水温 = $20^\circ C$, $\rho_1=2.65$) 時, 始可據 Stokes 氏公式以決定 V, D 間之關係。

當雷氏數大於 0.1 或 0.4 , 慣性作用開始趨於顯要, Stokes 氏公式即不適用。或即阻力係數



第十二圖 Heywood氏求定沙粒直徑與沉速關係之圖解

C_D 與雷氏數 R 之反比關係, $C_D=24/R$, 乃不復存在。應用沉速 V 以定粒徑 D , 可先由試驗工作率定之。如第十一圖之諸曲綫, 石英圓沙 ($\rho_1=2.65$) 之沙粒直徑, 自 0.01 m.m. 至 10 m.m. , 沉速自 0.01 公分/秒至 100 公分/秒, 水之溫度為 0°C , 10°C , 20°C , 30°C , 40°C 等四種, 直接檢用, 至屬利便。

Heywood 氏對於各種形式不同, 密度不同之沙粒, 於各種密度不同之流體內沉降, 當雷氏數不大於 $1,000$ 時, 粒徑與沉速之關係, 可藉第十二圖之曲綫決定之。當 ρ_1, ρ_2, μ, k 之值均為已知, 粒徑 D 及沉速 V 之互求, 可分下列二種情形述之。

(a) 設沙粒之真粒徑 D 為已知, 試求真沉速 V 為若干?

不論 Stokes 氏公式合用與否, 先將真粒徑 D 值連同 ρ_1, ρ_2, μ 等已知值代入 Stokes 氏公式, 如 (10) 式, 求得假沉速 V_s , 復一併代入雷氏數式中, 求得假雷氏數 $R_s=DV_s\rho_2/\mu$, 則所求之真沉速 V 為: $V=V_s(Re/R_s)$, 其間 Re 為真雷氏數, $Re=DV\rho_2/\mu$, 其值可由第十二圖之 A 組曲線檢得之。圖中實線代表沙粒為球體時, 其 (Re/R_s) 之值, 逐如曲線 A' 之所示。

(b) 設沙粒之真沉速 V 為已知, 試求真粒徑 D 為若干?

代真沉速 V 及 ρ_1, ρ_2, μ 等已知值入 Stokes 氏公式, 得假粒徑 D_s , 代入雷氏數公式, 得假雷氏數 $R_s=D_sV\rho_2/\mu$, 由第十二圖之 B 組曲線, 得真雷氏數 Re 之值, 則所求之真粒徑 D 為: $D=D_s(Re/R_s)$ 。球粒之 Re/R_s 值, 如曲線 B' 之所示。

細泥之顆粒 細泥及粗沙, 要以粒徑 $1/16 \text{ m.m.}$ 為區界, 移懸泥沙之最大粒徑以及 Stokes 氏公式大小分析 所可適用之最大粒徑, 均約為是值。故細泥之顆粒大小分析, 幾全部根據 Stokes 氏公式由沉降法為之。常用之細泥分析方法, 計有下列之十一種。

- | | |
|--|-------------------------|
| (1) 傾滲法, Decantation. | (7) 浮秤法, Hydrometer. |
| (2) 水滌法, Elutriation with water. | (8) 壓管法, Manometer. |
| (3) 氣滌法, Elutriation with air. | (9) 小錘法, Plummet. |
| (4) 累積沉澱法, Accumulative Sedimentation. | (10) 離心力法, Centrifugal. |
| (5) 部份沉澱法, Fractional Sedimentation. | (11) 光學法, Optical. |
| (6) 吸管法, Pipette. | |

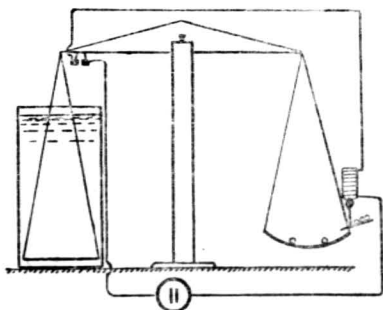
此外尚有應用較少之四種:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| (12) 濾過法, Filtration. | (14) X-光法, X-Ray. |
| (13) Tyndall 效應法, Tyndall effect. | (15) 交流電場法, Alternating electric fields. |

茲將累積沉澱法, 部份沉澱法, 浮秤法, 小錘法, 壓管法等說明圖各一幀, 並簡略說明如下:

累積沉澱法 第十三圖為 oden 氏累積沉澱儀 (沉澱法 1915) 之圖示, 天秤之左盤置勻和之泥水中, 右盤用電力自動加單位甚小之小鉛球, 以平衡左盤內因泥沙累積沉澱而增加之重量, 故於連續之時間內, 讀得右盤所加之重, 泥沙之累積沉澱量可求得之。

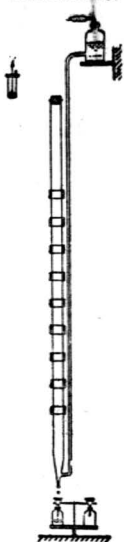
部份沉澱法 沉澱法 沉澱儀, 如第十四圖, 泥沙試樣於管頂一次加入, (小圓即為加沙設備), 用橡皮



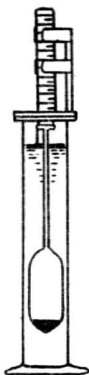
第十三圖 Oden 氏累積沉澱儀之圖示 (1915)

塞將管頂蓋嚴，沉澱於管底之泥沙，另用高壓之水源壓出之，容器可歷次更換，故得將沉澱之泥沙，部份析離之。

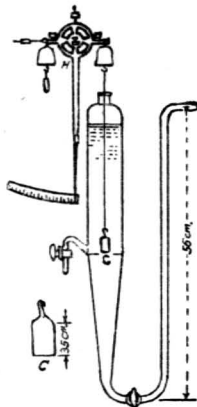
浮秤法 常用者為 Bouyouccs 氏及 Casagrande 氏二種，但精密之分析，以用 Puri 氏浮秤（1933）為佳，如第十五圖，浮秤依針尖接觸水面為準，其移距可精確量定之。另有用分析天秤稱其重量之一法，更可精確。



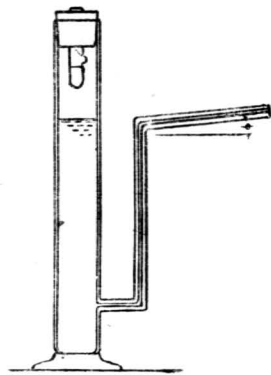
第十四圖
Kuhl 氏部份沉澱儀



第十五圖
Puri 氏浮秤 (1933)



第十六圖 Nieuwenburg
及 Schoutens 二氏小錘裝置 (1928)



第十七圖 Fort Peck 壓
差管 (1939)

小錘法 Nieuwenburg 及 Schoutens 二氏之小錘法裝置（1928），如第十六圖，c 為小錘，高 3~4 公分，重 2~3 克，直立管中之泥沙漸次沉降，c 之重量乃漸行增加，可由精密天秤 H 量定之。小錘除去後，管頂加裝 B 管，即成 Schone 氏水露管。

壓管法 第十七圖為 Fort Peck 壓差管（1939），沉澱管頂之木塞，中為底部溢水橫向開孔之試管，可免沉澱管內水之蒸發。於管底附近設一細管，頂部平斜，以放大水頭差之讀度。壓管內清水水面與沉澱管內渾水水面之差，與連接點渾水之濃度成比例。故於不同之時間讀得此一高差之值，即可推求泥沙之顆粒組合。

此外尚有顯微鏡法，可供校訂之用。E. W. Lane 教授採用加屏沉澱管（Chambered sedimentation tube）一種，全管分成多節，於任意規定之時間加屏截沙，根據沉降之時間及距離，以及諸屏門上截得之沙量，可得沙沙之顆粒組合情形。

細泥分析時，須注意沉澱管之直徑當大於 2 公分，懸液之濃度小於 2%，溫度之變差不大於 0.5C。所用水，必須為原水或蒸溜水。現有之方法，以濃度極低時之困難為最著。浮秤法及小錘法之用精密天秤定其重量，以及傾瀝法，Oden 氏累積沉積法，光學法之改進，均為極有希望之努力途徑。各種細泥分析方法之優點及缺點，見第二表。

第二表 細泥顆粒大小分析方法之比較

分析方法	優點	缺點
傾漚法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設備簡單。普通試驗室均可工作。 2. 試驗技術較為簡易。 3. 可得部份粒徑之總量，試樣之濃度可低。 4. 可得部份粒徑之總量，故資料之分析簡易。 5. 結果之精度為傾漚次數所控制，故可適用於多種研究目的。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 除自動設備外，傾漚之工作（至少三，四次），常極繁重。 2. 更換懸劑（水）數次，膠凝之機會較大。 3. 所需之原水或蒸溜水頗多。 4. 通常設備中溫度控制，頗為困難，故溫度及時間須勤加測讀。
沖漚法 （水）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 串連之沖漚瓶甚多，方法之自動性較大。 2. 可得部份粒徑之總量，故資料之分析簡易。 3. 試樣於沉降管中，無須先作均勻之混和。 4. 大量之試樣，亦可沖析之。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 橫斷面內之流速，不易均勻一致，其保持亦難。 2. 細粒之沖析較難，因極低之流速，不易控制。 3. 懸劑（水）之連續更換，膠凝之機會頗多。 4. 所需之原水或蒸溜水甚多，常致困難，或則需費過鉅。 5. 整個系統及所用之水，須保持溫度為恆等。
沖漚法 （空氣）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極細顆粒之沖析甚快。 2. 沖析所得之各部份，均係乾土，可直接衡得其重量。 3. 無膠凝之問題。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空氣之進入量，風速，以及斷面內風速之分佈，須有極注意之控制。 2. 試樣須為乾粉狀態之獨立單粒。 3. 需要特殊之設備。
累積沉 源法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析工作自動進行。 2. 可利用分析天秤之高精度確性。 3. 可採用自記器械。 4. 對於較低之濃度，亦可合用。 5. 適用之粒徑範圍較廣。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析結果，須用圖解法，作切線不易準確。 2. 因天秤之影響，所得之顆粒分配曲線，不甚精確。 3. 衡重量及記載工作，較為繁重，不克同時作二組試驗。
部份沉 源法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可得部份粒徑之總量，故試樣之濃度可低。 2. 無須如累積沉源法之用圖解分析。 3. 適用之粒徑範圍大。 4. 可適用於簡單之自動器械。 5. 沉降之深度可任意縮減，以適應於細沙分析。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試樣須於管頂一次加入，此手續對於細沙並未屬完美。 2. 盛接部份沉源泥沙，以備衡其重量，殊不易製整個泥水，不生擾動。
吸管法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試驗工作快而較為簡單。 2. 設備簡單，普通試驗室均可工作。 3. 中等之濃度（1—2%）恆極準確而可靠。 4. 所得資料，便於泥沙之分級。 5. 對懸液之擾動，較浮秤法及小錘法為小。 6. 適宜於大規模之分析及自動儀器之採用。 7. 對於顆粒極細之試樣，可將沉降距離縮短。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極少之試樣（常為10—20c.c.），需要極謹慎而準確之試驗技術，以免誤差之放大。 2. 試樣既少，濃度又極低時，本法之適用性即成問題。 3. 採樣作用，常行於一點，故懸液之混和，須極充份。 4. 試樣之抽取範圍，常為一球形區域，而非斷面內之一薄層。

分析方法	優點	缺點
浮秤法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試驗工作簡而捷。 2. 設備簡單，普通試驗室均可工作。 3. 於多種分析中，常準確而可靠。 4. 所得資料，便於泥沙之分級。 5. 適宜於大規模之分析。 6. 重量作精密之測定時，可能適用於低濃度試樣。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浸水之體積，不易精密讀得，故對於低濃度試樣之精密工作，常不適用。 2. 浮秤肩部之積聚泥沙，改變浮秤之重量，誤差因即發生。如浮秤僅於讀度前插入，則又擾動安靜之懸液。 3. 浮秤常浸懸液中，沉降之斷面積縮小，使所測得之濃度為過大。 4. 浮秤之重泡較長，測得者非一點之濃度，而為此一高度內之平均值。 5. 濃度漸趨稀薄，浮秤漸次下降，故所得密度係對一高度變異之範圍施測之。
小錘法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 錘重可直接用分析天秤精密測定，此點較浮秤為優。 2. 試驗工作快而較為簡單。 3. 除重量及記載採用自動記載儀器外，設備頗為簡單。 4. 靈敏而可適用於低濃度試樣。 5. 所得資料，便於泥沙之分級。 6. 適合於大規模分析之用。 7. 體積較浮秤為小，對懸液之擾動亦小。 8. 計算較浮秤法簡單，因浸水之體積及施測之位置，無甚變動。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 小錘肩部之積聚泥沙，須予顧及，如僅於讀度前插入，則又擾動安靜之懸液。 2. 小錘常浸懸液中，沉降之斷面積縮小，使所測得之濃度為過大。 3. 小錘佔據相當高度，故測得者非一點之濃度，而為此一高度內之平均值。
壓管法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試驗工作較為簡單。 2. 設備可極簡單或複雜，隨所需之精度及所附之自動控制器而定。 3. 適宜於自動記載設備之採用。 4. 適宜於大規模之分析工作。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直立之壓管，不易直接讀得準確之結果。斜置之壓管則較佳。 2. 直接測讀時，可能由視差而生誤差。 3. 試筒及壓管內之渾水及清水，可能混和。 4. 試筒內之渾水濃度漸減，壓管內流向試筒之水，可能阻礙沙粒之下沉。 5. 試筒上僅留一小孔以接壓管者，所得結果，與 Oden 氏曲線相似，須用圖解法分析之。 6. 試筒近底處開二孔連接於同一壓管，結果可直接應用，但靈敏度大減。 7. 濃度之變差較速時，水膜有積滯之情形。
離心力法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極細之材料，可作極快之分析。 2. 多組分析工作，可同時進行。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 極細顆粒之容積量度，常不可恃，而重量之測定，又頗困難。 2. 離心作用停止後，沉澱筒內仍有殘留。 3. 需要特殊之設備。
光學法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對沉澱之懸液，毫無擾動。 2. 試驗之工作為最少，無須焙乾，衡重等工作。 3. 高度靈敏。 4. 適宜於自動記載。 5. 適宜於大規模分析。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光線之透過及折射，為懸液之濃度及沙粒直徑之函數，致問題頗為複雜。 2. 光線之透過及折射，隨沙粒之光學性而定，如沙粒顏色，形狀，表面狀況等。 3. 需要特殊之設備。

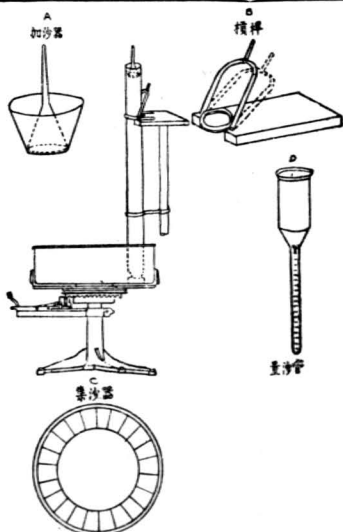
粗沙之顆粒大小分析 粒徑大於 1/16m. m. 之粗沙，其顆粒分析祇有直接量定法，篩折法，沉降法等三類。

(a) 直接法 Krubein 氏規定粒徑在 16mm. 以上者，沙粒直徑可用夾尺直接量定，或於水中置換以得其體積。沙粒於水中置換而得之體積，用球體公式求得之直徑，曰相當直徑 (Nominal diameter)。用夾尺量得沙粒之長，中，短三軸之直徑，設法平均而得者，為平均直徑 (Mean diameter)。長軸及短軸直徑之平均值，則曰中間直徑 (Intermediate diameter)。

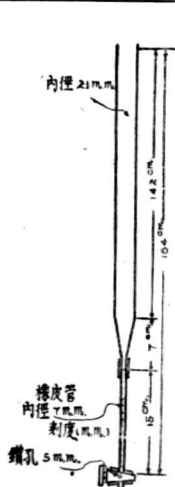
(d) 篩折法 篩折法在美國應用最廣，因此法簡易可靠，而標準篩極易獲得故也。美國材料試驗協會 (A.S.T.M.) 所用之標準篩號數及篩孔，如第三表。

第三表 美國材料試驗協會 (A.S.T.M.) 標準篩 (E11-38T)

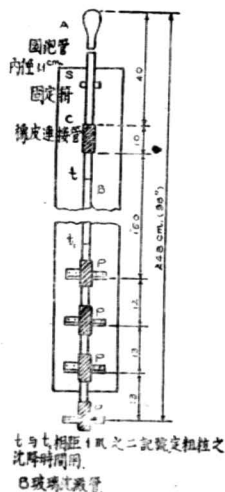
篩 號	篩 孔 直 徑		篩 號	篩 孔 直 徑		篩 號	篩 孔 直 徑	
	m. m.	吋		m. m.	吋		m. m.	吋
3½	5.66	0.223	18	1.00	0.0394	8)	0.177	0.0070
4	4.76	0.187	20	0.84	0.0331	100	0.149	0.0059
5	4.00	0.157	25	0.71	0.0280	120	0.125	0.0049
6	3.36	0.132	30	0.59	0.0232	140	0.105	0.0041
7	2.83	0.111	35	0.50	0.0197	170	0.088	0.0035
8	2.38	0.0937	40	0.42	0.0165	200	0.074	0.0029
10	2.00	0.0787	45	0.35	0.0138	230	0.062	0.0024
12	1.68	0.0661	50	0.297	0.0117	270	0.053	0.0021
14	1.41	0.0555	60	0.250	0.0098	325	0.044	0.0017
16	1.19	0.0469	70	0.210	0.0083	400	0.037	0.0015



第十八圖 Puri 氏沉沙儀 (粗沙用, 1934)



第十九圖 Emery 氏
累積沉沙儀 (1938)



第二十圖 Appollov
氏部份沉沙儀 (1934)

(c) 沉降法 近日之趨勢，沉降法之應用於粗沙分析，日見衆多。Stokes 氏公式雖不合用，但粒徑與沉速之關係，可設法率定之。概因篩析法既未顧及沙粒之比重，當形狀距球體愈遠，直徑之誤差且愈大。而沉降法對於沙粒之體積，比重，形狀，已統予顧及。所得之沉直徑，於泥沙沖積問題中，應用復至便利。茲對上頁之第十八圖，第十九圖，第二十圖，概略介紹如次：

Puri 氏沉沙儀 (Silt meter, 1934)，如第十八圖，A 爲漏斗倒裝之加樣設備，提漏斗柄，環狀部份之沙樣，即加入直立之沉降管。管之內徑約 6 公分，長 200 公分，與橫杆 B 連接，拾橫杆 B，沉降管可爲之抬高約 1 立方。C 爲鉛質集沙槽，週緣劃分成二十格，下用量筒 D 量沙之容積。

先於集沙槽內加水，深約 3 至 4 吋，置橡皮墊板於沉降管之下端隨即降橫杆 B 壓緊之，使不漏水。次於沉降管內加水，用 A 加沙，跑去開始計時，A 除去後速，用橡皮塞塞緊管頂，使不漏氣。其後乃可迭次用 B 將管抬高，旋轉 C 槽，使沙樣依大小分別沉入各集沙格內，用 D 量定之，並同時記載時間。

Emery 氏累積沉沙儀 (1938)，如第十九圖，先取沙樣約 3 克，於長約 10 公分之玻璃筒內振盪混勻之，立即於沉降管之頂端傾入，跑去即開始計時。沉降管下端容器內積沙之高度，與相應之時間一併記載之。沉降之距離既爲已知，泥沙之顆粒組合，乃可決定。容器內泥沙沉積時，應於瓶外輕擊，使達較密緻之狀態。

Apollov 氏部份沉沙儀 (1934)，如第二十圖，A 管與下部之直管於 C 點用橡皮管連接。先將 A 管取下，圓泡向下，沙樣傾入後，注水將滿，使沙粒均沉至泡底。下管之箱 D，除底部外均予開放，亦注水至滿。乃將 A 管 (圓泡仍向下) 與下管用橡皮管連接，倒置 A 管，使圓泡向上，開跑去以計時。三夾箱 D，乃於適宜之時間，自下向上依次關閉，測讀得四夾箱上之沙量及載沙之時間，泥沙之顆粒組合可得也。

決定總含量 沉積泥沙試樣於顆粒之大小分析而外，常須作容重，含沙量，孔隙率等多種試驗之基本方法。驗。推移泥沙試樣，則須焙乾或風乾後，衡得其總重量。本節所述，概以懸移泥沙試樣之含量測定方法爲主。泥水內含沙量之高者以百分數示之，低者以百萬分數 (p.p.m.) 示之，其測定方法，以沙粒極細含量極低之情形，最爲困難。

含沙量之表示，以重量制較爲合宜。其值爲試樣內所含泥沙之乾重，與試樣總重之比率，乘 100 所得者爲百分數，乘數 1,000,000 者爲百萬分數 (p.p.m.)，是爲標準之方法。但比率之分母，亦有僅用試樣內水之重量，或則視試樣之總容積與水爲等密度者。

測定總含量之方法，通常有下列八種：(1) 沉澱，傾撤，蒸發法，(2) 濾紙法，(3) Gooch 坩鍋法，(4) Alundum 坩鍋法，(5) 濾筒法，(6) 離心力法，(7) 光學法，(8) 置換法。

加入膠凝劑，以縮短沉澱之時間，足以使水中之溶解固體沉下，不如加石棉之爲優。

置換法 (Displacement method) 於沙粒真比重 S_p 爲已知之條件下，工作至爲簡捷。衡得等體積之泥水試樣與蒸餾水之重量差爲 w 克，是爲沙粒所佔體積 V_s 之密度差所引起，即： $w = (S_k - S_w) \cdot V_s$ ，其間 S_w ，爲水之比重，因之得泥水內泥沙之總重 W 爲：

$$W = S_p \cdot V_s = S_p \cdot \frac{w}{(S_p - S_w)} \quad (13)$$

如 $S_p = 2.65$, $S_w = 1$, 則 $w = 1.606w$ 。本法內無過濾及焙乾等工作，惟測定泥水與清水之重量差 w 時，必須注意體積及溫度之均爲恆等。

(譯者註：第四報告原文於 1941 年 11 月出版，共附 83 圖，5 表，參考文獻 171 篇。)

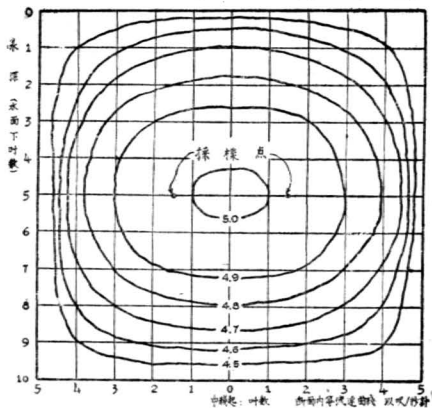
第五報告 懸移泥沙採樣器之室內考驗

第一報告所檢討之懸移泥沙採樣器，凡 65 種，其共通之主要缺點，計有下述六項：(1) 入口上游水流原型之受擾動，泥與水發生析離現象；(2) 開始進水時因內外壓力之差異而發生衝進注，大量泥水，突然衝入；(3) 採樣器上泥沙之粘附，以及試樣換瓶時，泥沙難免稍有遺失；(4) 施測點含沙濃度之脈動現象，使瞬時法採樣器所得結果，含有誤差；(5) 不能接近河床，致河底較粗之泥沙，不克採得；(6) 施測點以上河水之混入，使試樣不足為該測點之良好代表。

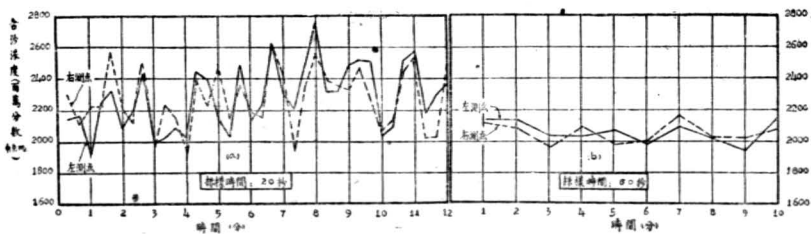
上述六項誤差，(5)，(6) 兩點有關於採樣器之構造，設計時當多予注意。採樣器不能接近河床所引起之誤差，第三報告中已有論及。含沙量脈動現象之影響，現有資料，尚未克獲致結論，要可多加施測之次數以平衡之。本報告所試驗考核者，專為上述之(1)，(2)，(3)，三項誤差之作用及大小，分簡述之如後。

試驗設備及本試驗所用之設備，計有：泥水循環系統，可控制之採樣設備，以及經常之試樣分預備試驗折設備等。試驗水槽為一正方形鋼管，深廣各 10 吋，壁厚 1.8 吋，長 16 吋，安置於高 10 吋每呎重 15.3 磅之水流形鋼架上。水流循環之原動力為 6 吋 Morris 式抽水機，有水箱以資平衡，最大流量為 3.8 立方呎/秒，試槽內之最大平均流速為 5.5 呎/秒，各由水表(Water-meter)及 Pitot 管量定。進水管內設有冷水迴流管，以防水温之增高。試驗所用之水，為 Iowa 河河水之經過濾而加綠氣者，水温控制於 65 至 68 °F 之間。所用之泥沙，計有四種，其代表粒徑各為 0.01, 0.06, 0.15 及 0.45 m.m. 於水中之沉降速率，與石英球體之理論曲線，頗相合致。試驗連續 6 至 8 小時後，泥沙及水，均須更換，以防因摩蝕而變小。

試驗槽設透明之採樣段凡二，可直接觀測。採樣段斷面內之流速分佈及所設之左右



第二十一圖 試驗槽採樣站之流速分佈



第二十二圖 左右採樣點泥沙濃度之脈動變差

二測點，見第二十一圖。設採樣之時間為 20 秒及 60 秒兩種，此二測點之脈動變差情形，如第二十二圖(a)，(b)所示。前者變差極限為 37%，平均變差為 12%，左右二點之差僅 0.4%。採樣時間延長為 60 秒後，變差極限減為 10.5%，平均變差減為 4.4%，左右二點之差僅 0.3% 而已。

第二十三圖為斷面內橫向及垂直方向之泥沙分佈情形。斷面內橫中綫上泥沙分佈，以中央為最大，管壁為最小，變差頗小。垂直方向之泥沙分佈以管底為最大，管頂為最小。細泥之變差尚微，粗沙之變差則甚大。

採樣器泥水混合體內，泥沙之密度較大口試驗，惰性亦較大。水流之方向或曲度改變時，泥沙之改變亦較為稽遲。折離現象，因即產生，測得之試樣，乃不復為準確之代表。採樣器入口之水流型式，計有三類：

(1) 進口速率與流速相等，含沙量結果正堪常，作代表。

(2) 進口速率小於流速，流綫偏離入口，但泥沙之偏離較小，故所測得之含沙量，略稍嫌入。

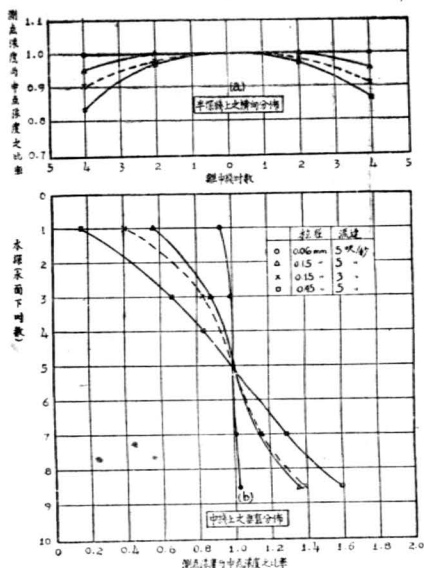
(3) 進口速率較流速為大，泥沙之偏向入口，較水為小，測得之含沙量，乃稍嫌小。

本試驗採用之標準採樣短管，如第二十四圖，為一內徑 0.25 吋，長 $1\frac{1}{32}$ 吋之銳緣短管，角度及形式之設計，以使對水流所生之影響最小為準則。進口速率可於正常情形下，使與流速相等。先用此項標準短管，正對水流之方面，控制進口速率，使與流速相等，採樣繼續 5~10 分鐘，測得之含沙量，視作標準。用其他採樣器或採樣方法所測得之含沙量，與之相較，乃得誤差之值。各項不同之採樣條件，分別述其試驗結果如次。

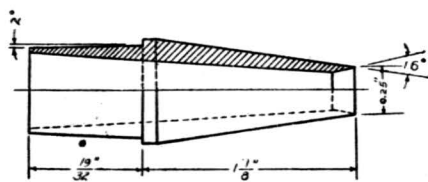
(a) 進口速率之影響 用標準採樣短管，正對水流以採取試樣，其進口速率予以適宜之控制，使之與流速成各種不同之比率，所得含沙濃度之誤差，分泥沙粒徑及流速為參變數之二種不同情形，結果如第二十五圖。

由第二十五圖可見泥沙之粒徑愈大，含沙濃度所起之誤差愈大，粒徑大於 0.6mm，誤差有激增之勢，粒徑在 0.6mm 以下者，進口速率之影響，殊為微小。第二十五圖 (b) 示流速愈小，進口速率之影響乃愈大。一般言之，進口速率愈小，測得之含沙濃度為愈高。

(b) 入口偏差之影響 採樣器入口與水流方向作 10° 、 20° 、 30° 之偏差，所得含沙濃度之誤差，於 10° 偏差情形下，極為微小。 20° 之偏差，誤差亦不顯著。30° 之偏差，則誤差頗大。所測得之含



第二十三圖 採樣站泥沙之分佈



第二十四圖 標準入口短管

沙濃度，均較無偏差之標準情形為小。

(c) 入口口徑之影響
理論上入口口徑之大小，應無影響，本試驗另用口徑為 0.15 吋及 0.375 吋之二種入口，以與標準入口 (0.25 吋) 比較之。結果得：進口速率與流速不相等所引起之含沙濃度誤差，隨口徑之減小而增加。但差異頗微，且進口速率等於流速時，三者所測得之含沙濃度仍恆等。故入口之口徑，並無顯著之關係。短管之口徑或面積，均以最前端銳線間所函者為準。

(d) 入口形狀之影響
標準短管之形狀，如略予改變，濃度誤差之大小，當亦隨之變異，惟影響並不過大。通常為減少對水流之阻擾起見，進水短管常向上游伸出，但其數值尚未能作理論上之決定。入口之形式，當以如標準管之流線型為最佳。

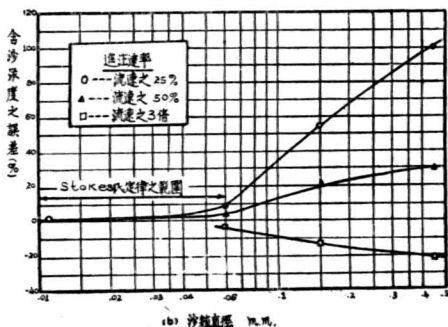
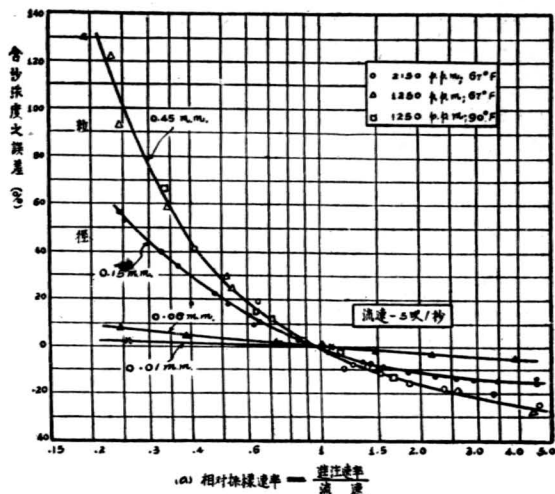
Rock 島採樣器之入口，短管與器殼齊平，如第二十六圖之 (a) 所測得之濃度，恆較真值為高。如將短管向前伸出 1 吋，如圖 (b) 即可得極合致之結果。

(e) 入口舌門之影響
入口前上端如設有直徑為 1/4 吋之圓形舌門，分平置 (與水流方向相順)，向上掀起 30°，及向下傾掛 30° 之三種情形，與標準短管無舌門之情形比較之。結果為：平置之舌門，影響極微，向上掀起者，測得之濃度嫌過高，向下傾掛者，濃度嫌過低，惟影響均不過鉅。

(f) 入口立置之影響
將入口置於上下垂直之方向採樣，所得含沙濃度，一般均見減小。沙粒直徑愈大，誤差亦愈大，尤以進口速率低於流速時為甚。又口徑愈小，及流速愈小，誤差亦為愈大。

(g) 入口橫置之影響
入口平置，與流速之方向相正交，所得測之含沙濃度，亦恆為過低。其負誤差之值，遠較入口於垂直情形下為高。

在通常之施測情形下，進口速率與流速之比率，沙粒之直徑，水流之流速等三項，對於所得試樣之含沙濃度，關係最為鉅大。



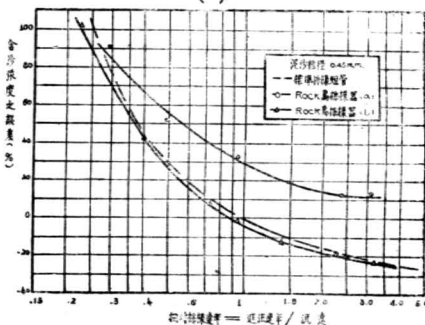
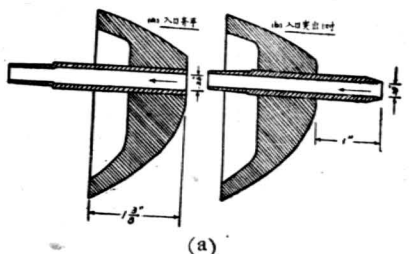
第二十五圖 含沙濃度與進注速率及粒徑之間

採樣器截留 採樣器之截留泥沙，可
泥沙試驗 分橫筒式採樣器器壁及
試樣換裝容器之二點言之。

橫筒式採樣器於開始進水之前，已有
細流漏進，少量泥沙，沉集於器之內壁，
致測得試樣之含沙量，較真值為高。本試
驗將內徑 $1\frac{1}{4}$ 吋之圓筒，置於透明段內。
筒之內壁光滑，入口銳緣，兩端可設舌門，
筒內裝 $1/8$ 吋寬， $1/16$ 吋厚之環帶二條，
距入口處為 $3\frac{1}{2}$ 吋及 7 吋。所用之沙粒
直徑為 0.15m.m. ，採樣時間為 20 至 23 分，
所得結果，如第四表。

採樣器之試樣盛器不能拆卸者，試樣
於傾出換瓶時，不免有較細之泥沙，遺留
於盛器之內壁。故測得之含沙量，當稍較
真值為低。本試驗就 Rock 島，Vicks-
bury, Omaha三種採樣器，測得泥沙遺
留量之重量百分率如第五表。

下表所示，概係潔淨盛器首次使用之
結果，以後繼續使用時，則是否先予沖淨，
頗有關係。



第二十六圖 入口突出之影響 (b)

第四表 橫筒內壁截留泥沙之試驗結果

圓筒情形	流 速 (呎/秒)	試驗時間 (分)	真確含沙量 (p.p.m.)	試管含沙量 (p.p.m.)	含沙量增率 (p.p.m./分)
光滑	1.7	20	54	314	13
光滑	1.1	22	4	1,370	62
裝有舌門	1.1	23	3	605	26

第五表 採樣器內泥沙遺留量，以重量百分率計

泥沙直徑 (m.m.)	Rock 島採樣器			Vicksburg採樣器		Omaha採樣器	
	500 p.p.m.	1000 p.p.m.	2000 p.p.m.	500 p.p.m.	1000 p.p.m.	500 p.p.m.	1000 p.p.m.
0.01	2.2%	3.5%	2.3%	2.1%	2.4%	1.3%	1.1%
0.06	9.3	6.0	2.1	12.5	8.2	2.1	1.9
0.15	7.6	6.2	9.0	18.4	8.0	1.9	3.7
0.45	8.6	4.9	9.6	15.4	9.6	0	0

緩注式採樣
器進注試驗

本試驗所用之採樣器。計為 Colorado Straub, Frazier, Omaha, Rock
島等五種。試驗之項目，有下述五種：(1) 靜水內之進注特性，(2) 開始時

原差所生之急衝進注，(3)進注速率調節器之功效，(4)瓶式採樣器之昇降運動與進注速率之關係，(5)流速大小對進注速率之影響。

此一問題，實為本報告所論三項誤差中之最主要者。

靜水內四種採樣器之進注情形，如第二十七圖，開始採樣後不足1秒之內，即有大量之水進入，是為急衝進注(Inrush)。按 Boyle 氏定律以計算瓶內空氣之壓縮，如第二十八圖之理想曲綫，與實際情形極為合致。急衝進注後之正常進注(normal filling)，常為等率之直綫。如無洩氣設備，氣泡亦由入口排出，則成不良之間歇情形。

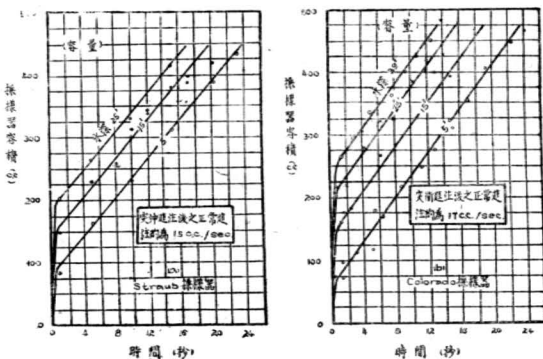
急衝進注作用，關係至為重要。大量之水，於不足1秒之時間內注入，速率極高，泥沙與水因有析離作用，測得之試樣含沙量，乃大減低。又緩注採樣器之不論用於積時法或積深法，均因急衝進注而不克滿意。

採樣器之進注速率，常可改變入口或洩氣孔之活門大小以控制之。但進注速率不與流速相等時，試樣之含沙量亦即發生變差，故此點殊少實用價值。

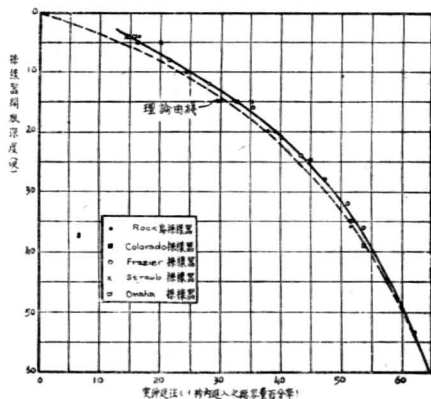
用 Colorado 採樣器作上下昇降運動，速率分1呎/秒及2呎/秒兩種，上昇運動，始於水面下之20呎及30呎，下降運動均於水面開始，所得結果，如第二十九圖。上昇運動之進注，仍分急衝進注及正常進注二項，前者與水深成正比例，後者隨上昇速率之增加而稍減。下降運動則以2呎/秒之進注率為稍大，但均不顯著。下降運動之進注，由空氣之受壓縮及逸出作用二者所合成，較為複雜。圖中虛曲綫所示者，即為水深與空氣被壓縮之關係。

流速與進注速率之關係，如第三十圖，其間以 Rock 島採樣器之關係，較為確定。Straub Frazier, Colorado, Omaha 採樣器之入口，垂直於水流方向，故流速之影響不著。

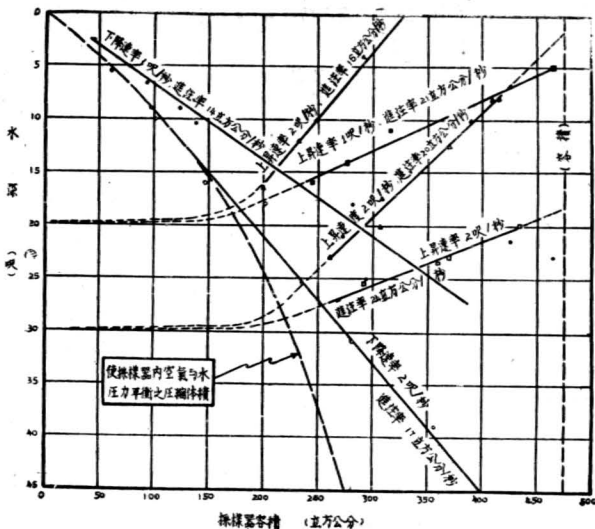
(譯者註：第五報告原文於1941年12月出版，共附51圖，2表。)



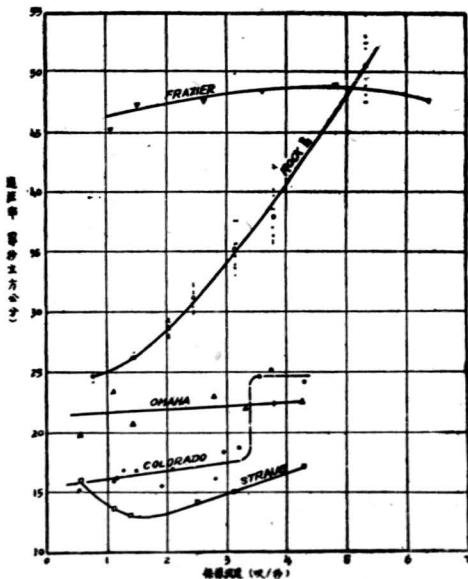
第二十七圖 靜水內採樣器之進注情形



第二十八圖 緩注式採樣器之急衝進注



第二十九圖 Colorado採樣器於水中昇降時之進注情形



第三十圖 採樣器進注速率與流速之關係

第七報告 懸移泥沙顆粒 分析新法之研究

泥沙試樣之顆粒大小分析，已於第四報告，最常用之方法，計有：篩析法，傾瀝法，吸管法，浮秤法，泥沙儀，顯微鏡法等，各有適宜之專用條件。理想之分析方法，須能符合下列諸要求：(1)適用之粒徑範圍大，(2)適用之濃度之範圍大，(3)工作簡捷，(4)結果精確，(5)可大規模同時試驗，

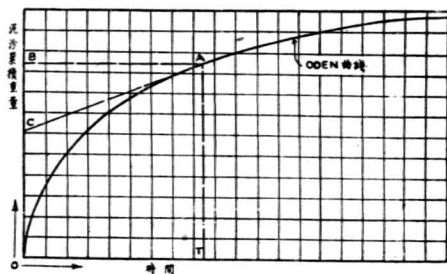
本報告改良所得之底抽沉澱管 (Bottom withdrawal sedimentation tube)，對於上述諸要求，大致均能吻合，不失為良好之新法。

加 輝 E.W.Lane 教授最 擬用
沉澱管 加輝沉澱管，第四報告中

已有述及。全管長 100 公分，分為十段，各設可抽動之牌板。勻和之試樣加於第一段內，開脚下沉，冀能由下向上，於一定之時間迭次加脚，以採取粒徑均等之部份沙樣。惜以泥水之下沉，成為稠流 (Density current)，難予制取。而牌板之製造，亦多困難，於不漏水之條件下，又須稍為寬鬆，以利工作。沙粒之嵌入槽縫，更足使工作臨時失敗。故後即予放棄，更妥善之底抽沉澱管，終乃產生。

泥和懸液之沉澱理論 1915年，Sven Oden博士最先發表勻和懸液之沉澱理論，至 1925 年獲得一一般性之結論。勻和懸液因沉澱作用而能漸趨澄清，其密度或水壓力之降低，得就同一時間之不同深度，或同一深度之不同時間為對象以論討之。Oden 氏之數學分析，得一極煩雜之頻率函數，惟圖解法則頗為簡易。

Oden 氏之累積沉澱儀，如第十三圖，由右盤之累積重量，可求得累積沉澱沙粒之重量，依時間繪成曲線如第三十一圖，曰 Oden 氏曲綫。曲綫上之 A 點，橫坐標為時間 T，縱坐標 OB 為該時間內泥沙之總沉積量。於 A 點作一切綫 AC，得懸液內粒徑等於或小於 d 之沉降率，d 則為與時間 T 相應之粒徑。沉降率 AC 作用一時間 OT 以後，其縱坐標 BC，即代表粒徑等於或小於 d 者，於時間 OT 內之沉積量。故得縱坐標 OC = OB - BC，代表時間 OT 內粒徑大於 d 之沉積量。由不同之縱坐標 T 值，依上述之步驟，乃可求得懸液內泥沙試樣之顆粒組合。



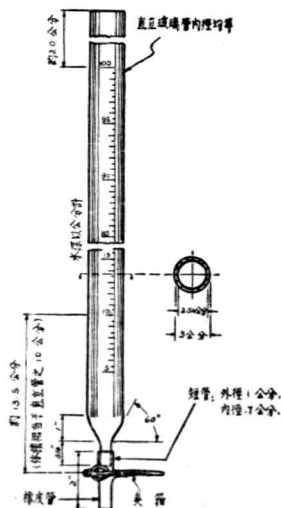
第三十一圖 Oden 氏曲綫

底抽沉澱管之設計 本報告改良所得之底抽沉澱管，簡稱底抽管，其構造如第三十二圖。管之主幹為一內徑 2.54 公分，長約 125 公分之玻璃管，下端 5 公分，漸行收縮成內徑為 0.7 公分，外徑為 1 公分，頂端留空 20 公分，中間等分刻劃為 100 格，各高 1 公分。下端與一內徑 1 公分之橡皮短管連接，長 5 公分。橡皮管用夾箱以司啓閉。

置渾水於沉澱管內，上下振盪勻和之，正置後開始沉澱，開地表以計時間。待管底積有相當泥沙，乃開箱洩入盛器，讀載時間。其後按次洩取，讀載時間及管內之水面高度。

本法之可能誤差，計有二點：(1) 底部斜肩上泥沙之積集，(2) 底部洩水時引起激動，妨礙泥沙之安靜沉降。惟前者因洩水時可將斜肩之泥沙沖出，後者於清水中用色水驗其水流情形，結果流線正直平行，故二者均無顯著關係。

底抽管之高度定為 100 公分，更高則渾水之振盪混和，將感不便。內徑為 2.54 公分，管壁對泥沙沉降，有無重大之影響，尚有待於詳盡之研究。



第三十二圖 底抽沉澱管

檢來，表中粒徑之小於 0.0625ϕ 者，按 Stokes 氏公式計算，較大之粒徑，則以 California 工學院之曲綫為準。

第七表 沉距 100 公分各種粒徑及水溫所需之沉降時間(分)

水溫 °C	粒 徑 (m.m.)											
	1.00	0.50	0.25	0.125	0.625	0.0442	.0312	.0221	.0156	.0110	.0078	.0055
10	0.115	0.243	0.592	1.73	6.22	12.4	24.9	49.7	99.6	200	399	802
12	0.113	0.237	0.568	1.65	5.87	11.7	23.6	46.9	94.2	189	377	758
14	0.111	0.232	0.552	1.59	5.57	11.1	22.3	44.5	89.2	180	357	718
16	0.109	0.227	0.538	1.53	5.27	10.6	21.2	42.2	84.6	170	339	681
18	0.107	0.222	0.522	1.48	5.20	10.0	20.1	40.1	80.5	162	322	647
20	0.106	0.218	0.508	1.41	4.77	9.53	19.2	38.2	76.6	154	306	616
22	0.104	0.213	0.497	1.37	4.55	9.10	18.3	36.4	73.0	147	292	587
24	0.103	0.210	0.485	1.32	4.33	8.67	17.4	34.7	69.6	140	279	560
26	0.102	0.207	0.472	1.28	4.15	8.28	16.7	33.2	66.6	134	266	534
28	0.101	0.203	0.462	1.24	3.97	7.93	15.9	31.7	63.7	128	255	512

本報告之底抽沉澱管，用吸管法及 Puri 氏沉澱管校訂之，可證實本法之結果，頗為精確。適用之粒徑範圍為 0.001—1.0 m.m.，濃度範圍為 300—10,000 ppm.，較他種方法為大。其比較見第八表：

第八表 顆粒大小分析方法之適用範圍

方 法	粒 徑 範 圍 (m.m.)	濃 度 範 圍 (p.p.m.)
篩 析 法	1/16—無限制	125—無限制
沉 沙 儀	1/16—2	125—25 000
浮 秤 法	0.001—1/16	60,000—116,000
吸 管 法	0.001—1/16	3,000—10,000
傾 撇 法	0.001—1/16	1,250—19,000
底 抽 沉 澱 管	0.001—1	300—10,000

定上表之濃度範圍時，已將試驗時所用之泥水體積與採得試樣之容積，間之關係，予以計入。後者概以 400c.c. 為準。

本法之試驗設備，頗為簡單，工作亦不煩雜。製同樣之儀器多套，並列架上，多組試樣且可同時分析之。

(譯者註：第七報君原文於 1943 年 6 月出版，共附 30 圖、七表，參考文獻 9 篇。)

第 九 報 告

水庫內淤積泥沙之密度

水庫之為泥沙所淤廢，乃極嚴重之問題。水庫有效壽命之估計，必須先行決定淤積泥沙之單位重量，藉能以含沙之重量制 求定淤積泥沙之容積。本報告廣集此方面之已有資料，整理分析之，製定計算淤積密度之實驗公式，以供設計水庫之參考。

有關資料 有關淤沙密度之資料，頗為龐雜，估計水庫之淤積時，各家常用之泥沙單位容重，為之 檢 討 30 至 125 磅/年立方尺 (合 0.48 至 2 噸/立方公尺)。斟酌採用，殊非易事。

Reisinger氏得巴利維亞 (Bavaria) Niedersoutholfen 湖內淤泥之單位重量，如第九表所示：

第九表 Niedersoutholfen湖內淤泥單位重量與深度之關係

深度 (公尺)	單位重量		深度 (公尺)	單位重量		深度 (公尺)	單位重量	
	磅/呎 ³	噸/公尺 ³		磅/呎 ³	噸/公尺 ³		磅/呎 ³	噸/公尺 ³
0	21.6	0.35	7	53.9	0.86	14	92.7	1.49
1	39.6	0.64	8	56.0	0.90	15	84.0	1.35
2	41.5	0.66	9	73.6	1.18	16	87.2	1.40
3	34.8	0.56	10	74.0	1.19	17	85.3	1.37
4	42.1	0.68	11	80.4	1.29	18	92.8	1.49
5	45.1	0.72	12	85.2	1.37	19	88.1	1.41
6	52.9	0.85	13	97.7	1.57	20	89.6	1.44

此外各家所測得之資料，至為繁多，但頗不合致，整理分析之工作，至屬必要。

有關資料 影響淤積泥沙密度之因子甚多，概可分下列諸點述之：

之分析 (1) 水庫運用之情形 如攔洪水庫之常乾涸者，泥沙曝乾之機會甚多，密度最大。水電工程及灌溉工程之水庫常滿者，密度最小。

(2) 泥沙之固結率 泥沙之固結快者，密度亦大。通常顆粒愈大，固結愈快。

(3) 泥沙顆粒之大小 泥沙之顆粒愈大，孔隙常為小粒所填滿，故密度較大。顆粒愈小，密度亦愈小。

此外如水庫內泥沙淤積之時，設水靜止不動，淤泥之密度將較小，動水內泥沙之淤積，則密度常較大，惟關係不著。又細泥淤積時之是否有膠凝之現象，當亦有關係，但未有充足之資料，堪作詳細之研討。

淤積泥沙之密度，要與粒徑之大小有關，試令 P 代表泥沙粒徑大於 0.05 m.m. 之百分數，W 為淤積泥沙之乾容量 (磅/立方呎)，繪 P-W 之相關曲線，點據大部位於一帶形面積內。其中央之曲線，約可用下式示之：

$$W = 51. (P + 2)^{0.13} \quad (14a)$$

如 W' 以噸/立方公尺為單位，上式改為：W' = 0.818 (P + 2)^{0.13} \quad (14b)

原資料與上式之結果相比較，半數之誤差均小於 5%；原資料之 75%，誤差均在 10% 以內。

又上述影響淤積泥沙密度之因子，最主要者為水庫運用情形，泥沙顆粒直徑，及固結率等三項，今設 W₁ 為一年內新淤之單位重量，其值隨水庫運用情形及沙粒直徑而定，T 年後淤積泥沙之重量以 W 示之，其式如下：

$$W = W_1 + K \cdot \text{Log}_{10} T \quad (15)$$

式中 K 為固結因數。W₁ 及 K 之值如第十表：

第十表 新淤之單位重量及固結因數

水庫情形	沙		泥		粘 土	
	W ₁	R	W ₁	R	W ₁	R
(a) 水庫常滿	93 (1.49)	0	65 (1.04)	5.7 (.090)	30 (.48)	16 (.256)
(b) 水庫偶空	93 (1.49)	0	74 (1.19)	2.7 (.043)	46 (.74)	10.7 (.172)
(c) 水庫多空	93 (1.49)	0	79 (1.27)	1.0 (.016)	60 (.96)	6 (.096)
(d) 水庫常空	93 (1.49)	0	82 (1.31)	0 (0)	78 (1.25)	0 (0)

第十表中 W_1 之值與粒徑同增大，水庫洩空之機會愈多， W_1 亦愈大。K 值則粒徑愈細為愈大，沙粒愈大，固結愈快，故 W_1 可與年數無關係。水庫洩空之機會愈大，K 值愈小，即固結之關係為愈小。

表中 W_1 及 K 之原值，均係英制，即由 W_1 及 K 算得之 W ，統以磅/立方呎為單位。如須用公制，(15) 式可不改變，第十表中 W_1 及 K 用括號內之數值，依 (15) 式求得之 W_1 ，即以噸/立方公尺為單位。今舉例明之如下：

設某水庫四季常滿，淤積之泥沙，經分析得：沙佔 20%，泥佔 40%，粘土佔 40%，試估計 100 年後之平均密度為若干？

沙： $W = 93 \div 0 = 93$ 磅/立方呎 (公制： $1.49 \div 0 = 1.49$ 噸/立方公尺)

泥： $W = 65 \div 5.7 \times 2 = 76.4$,, (,, : $1.04 \div 0.090 \times 2 = 1.22$,,)

粘土： $W = 30 \div 16 \times 2 = 62$,, (,, : $0.48 \div 0.256 \times 2 = 0.99$,,)

得整個試樣之平均值為： $93 \times 0.2 + 76.4 \times 0.4 + 62 \times 0.4 = 74.0$ 磅/立方呎 (公制： 1.18 噸/立方公尺)。

又水庫之終極淤沙容量可較蓄水容量為大，因水面水平，而淤泥得成為斜面。淤積泥沙內所含之水量，仍能部份洩出，最高時可達淤沙容積之 36%。此二點雖非至要，但亦堪寄以注意者也。

(譯者註：原文於 1943 年 11 月出版，共附 2 圖，12 表，參考文獻 42 篇。)

附： 圖表公式新舊號數對照表

新圖號	原圖號	新圖號	原圖號	新表號	原表號	新式號	原式號
	第一報告		第四報告		第三報告		第三報告
1	1	17	64	1	7	1	9
2	69	18	77		第四報告	2	12
	第二報告	19	78	2	4	3	15
3	15	20	80	3	5	4	18
4	17		第五報告		第五報告	5	1
5	21, 22	21	5	4	1	6	19
6	23, 24	22	6	5	2	7	20
	第三報告	23	7		第七報告	8	21
7	2	24	9	6	52 頁	9	22
8	5	25	10, 11, 12, 13	7	1		第四報告
9	1	26	23, 24	8	3	10	1
10	4	27	46		第九報告	11	2
	第四報告	28	47	9	5	12	3
11	5	29	50	10	10	13	167 頁
12	6	30	51				第九報告
13	37		第七報告			14	36 頁
14	41	31	9			15	50 頁
15	54	32	10				
16	58	33	14				

泥沙分類命名之商榷

沙、玉 清⁽¹⁾

(一) 引 言

泥沙之分類，輒隨各專家之觀點，以及需要之不同而異；例如地質學家着重沙土之成份，沖積之過程；農學家常注意土壤之肥力，與蓄水之性能；土工學家則以沙土之透水率及剪力強度，作為分類標準(註1)。我國河工，向分泥沙為素土，膠土，黃土三類(註2)；實為水工學者，分類命名之肇始。惟此種方法，實用固稱便利，但已難滿足近代水工學術之要求。歐美學者，近年研究泥沙問題，貢獻殊多，惟對於泥沙分類命名之基本工作，尚沿舊習，缺乏統一合理之標準，可資借鏡。本文就管見所及，擬定較為合理之分類命名方法，謹與當世賢達，共商榷之。

本文承唐念慈君襄助整理，附此誌感。

(二) 水土之通性

水工學術中之泥沙問題，以研究泥沙在流水中之挾運，沖刷，淤積等現象為主。此種性能，可簡稱為「泥沙之沖積」。影響泥沙沖積之因素，頗為複雜；普通可就水力的，沙性的，水性的三方面言之。

- 一、水力的 包括比降，流速，水深，流量，渦率，副流，流速分佈，斷面形，糙率等。
- 二、沙性的 包括沙粒之粗細，形狀，久重，方位等。
- 三、水性的 包括久重，動滯性等。

關於水力的因素，屬河渠水力學範圍，暫不論列。茲將泥沙本身之性質，以及水與沙之相對性質，分述如下：

(甲) 泥沙之性質

一、沙粒之粗細

河流挾運之泥沙，概由粗細不同之顆粒，組合而成。顆粒之直徑，曰「粒徑」，單位常以公厘(mm.)計之。

自然界泥沙之粒徑，變率至大，巨者可達數公尺之頑石，細者可至0.002mm.之泥土，其間相差，約百餘萬倍。沙粒粗細，影響土壤之性質，最為顯著。各國土壤學者，概以之作爲土壤分類命名之標準。

1913年10月13日，國際土壤物理協會，採取 Atterberg 氏之建議，規定如第一表(註3)：

流水挾運泥沙，對於粒徑之較粗者，需較大能力。久引起水工學者之注意，爲影響流水挾沙量重要因素之一。例如 G.K.Gilbert(註4)，A.Schoklitich(註5)，MeYer-Peter(註6)各家之挾沙量

(1) 國立中央大學教授兼土木工程系主任，前中央水利實驗處國立西北農學院合設武功水工試驗室主任。

公式中，均以粒徑為函數。

自然界泥沙，概非純粹之球形，且以呈扁圓，稜角，或片狀者居多；所謂粒徑，究何所指，向為研究泥沙者，最感棘手之問題。普通由篩析法測定之粒徑，常為顆粒之最長直徑；用沉澱法分析者，則又為相當於該顆粒，同一久重，同一沉速，球帶之直徑。又稱「相當粒徑」。此種相當粒徑，輒較自顯微鏡觀測之自然粒徑為小。普通

片狀顆粒之黃粒徑，約大於相當粒徑 $3\frac{1}{2}$ 至4倍(註7)。可見普通所指粒徑，除純粹球形者外，即非一具體之物理數量，隨顆粒之形狀而變，常可影響挾沙量公式之可靠性，不可不注意也。

二、沙粒之形狀

沙粒之形狀，有橢圓，有扁平，有稜角，變化複雜，極不規則，輒視其母岩性質，風化之過程而異。如雲母呈片狀，石英粗者近球形，細者多稜角，長石為橢圓或板片狀；又如花崗石者呈卵形，頁岩則為扁圓形等，其著例也。

片狀沙粒，較球狀者易於沖刷，而難於淤積。易言之，即片狀之沙粒，在流水中運動之阻力，較球狀者為大；是以在同一水流狀況內，流水之挾沙量，對於片狀沙粒，當較同等重量之球狀者為大。但在極細之沙粒，片狀者之阻力，反較球狀者為小。此為從事水工試驗者，習知之事實。惟普通挾沙量公式中，未能將此種因素，列入函數之內。

沙粒之形狀，以其變化複雜，且非一純粹幾何型；吾人欲定一具體之係數表示之，如取最長直徑與最短直徑之比值等，對於定量定性，殊乏實際意義，欲進而作分類命名標準，更屬困難，惟此種因素，事實上未容忽視。

三、沙之么重(Spezifische Gewicht)

沙之么重 δ 視泥沙之母岩而異；普通泥沙么重，概如第二表(註8)：

可見普通岩質泥沙之么重，平均約在 2.6~2.7 之間。變率較其他因素為微，且可精密測定之。設泥沙顆粒之容積相等，凡么重大者，常易於淤積，而難於沖刷，屬屬重要，惟以其近似一常數，普通可包括於公式常數之內，在實用挾沙量公式中，雖未將么重列入，尚不致引起顯著差誤。

四、沙粒之方位

泥沙在流水中運動，或淤積於河床，其顆粒之位置，對水流方向，常構成一定之方位，例如溪澗中石子，輒呈鱗狀疊積；此種有規則之現象，凡粒徑在一公分以上者，尤為顯著。(註12)

泥沙受水流沖刷，向前運動之方位，與淤積時之固定方位，常不一致；視顆粒之形狀而異。例如柱形顆粒，在運動時，其長軸與水流方向輒相垂直，滾轉而進，惟在靜止時，則長軸多與流向平行。又如圓片形顆粒，在水流滯緩之時，可在水底間隙滑動；流速稍增，則翻轉跳躍而前進，如車輪然。苟水流更疾，則圓片得由水底激起，飄蕩而進。可見泥沙顆粒，在流水中運動之方位，不特視形狀而異，且與運動之速率，亦有密切關係。

第一表 國際土壤分類命名表

名稱	粒徑 (mm.)	原名
石與粗礫	>20	Stein und Geröll
細礫	20-2	Kies
粗沙	2-0.2	Grob Sand
細沙	0.2-0.02	Fein Sand
泥	0.02-0.002	Schluff
膠	<0.002	Kolloid Teilchen

第二表 岩石沙土之么重

種 類	么重 ($\frac{Gr.}{cm^3}$)	種 類	么重 ($\frac{Gr.}{cm^3}$)
長 石	2.5 ~ 2.8	石 英 沙	2.653 ~ 2.639
正 長 石	2.5 ~ 2.6	灰 石 沙	2.722 ~ 2.756
曹 達 長 石	2.63 ~ 2.69	白 堊 土	2.813 ~ 2.720
灰 曹 長 石	2.64 ~ 2.8	高 嶺 土	2.47 ~ 2.503
輝 石	3.2 ~ 3.5	埴 土	2.44 ~ 2.53
角 閃 石	2.9 ~ 3.4	腐 植 土	1.37
雲 母	2.8 ~ 3.2	泥 炭	1.26 ~ 1.462
石 英	2.5 ~ 2.8	褐 鐵 礦	3.4 ~ 4.0
方 解 石	2.6 ~ 2.8	赤 鐵 礦	5.1 ~ 5.2
白 雲 石	2.8 ~ 3.0	永定河沙(註9)	2.76 ~ 2.66
綠 泥 石	2.7 ~ 3.0	渭 河 沙(註10)	2.52 ~ 2.58
滑 石	2.6 ~ 2.7	黃 土(註11)	2.47 ~ 2.75
石 膏	2.2 ~ 2.4		

(乙) 泥與水之相對性質

上述各點，概就泥沙本身之性質言；惟吾人探討沖積問題，應着重泥沙在流水中之相對性質，以及水因含有泥沙後，本身性質之改變。茲將泥與水之相對性質，分述如下：

一、渾水之么重

清水之么重 γ_0 ($Gr./cm^3$)，視溫度而異，如下表：

溫 度 °C.	0	4	10	15	20	30	50	100
么 重 γ_0	0.9999	1.0000	0.9997	0.9991	0.9982	0.9951	0.9881	0.9584

可見清水么重隨溫度之變異極微，普通可假定為一常數，即等於 1.000 ($Gr./cm^3$)。

水含泥沙，則稱「渾水」，渾水之么重 γ ，隨溫度及水內所含「渾質」之多寡而定，如下式：

$$\gamma = \frac{\left(V - \frac{G}{\delta}\right) \gamma_0 + G}{V} = \gamma_0 - \left(\frac{\gamma_0}{\delta} - 1\right) \frac{G}{V} \quad (1)$$

式中：V = 渾水之容積，(cm^3)

G = 渾水內所含渾質之重量，($Gr.$)

γ_0 = 清水之么重，($Gr./cm^3$)，= 1.000 ($Gr./cm^3$)

δ = 渾質之真么重，(Gr/cm^3)

按含泥量 C = 單位容積內渾質之重量與渾水重量之比值，即 $C = \frac{G}{\gamma V}$ ，代入上式，則得渾水么

重公式如下：

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \left(\frac{\gamma_0}{\delta} - 1\right) C} \quad (2)$$

二、渾水之動滯性率

清水之動滯性率 ν 。(Coef. of kinematic viscosity) 隨水溫 $t^{\circ}\text{C}$ 而變，據 Poiseuille 氏(註13) 測定，如下式：

$$\nu_0 = \frac{0.0178}{1+0.0337t+0.00022t^2} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

渾水之動滯性率 ν ，視溫度及含泥量而定。李翰如君曾將武功黃土，配合於清水內，實測其動

第 四 表

含泥量 % C	渾水比重 γ (gr/cm ³)	動 滯 性 率 ν ($\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$)				
		t = 0°C.	t = 10°C.	t = 20°C.	t = 30°C.	t = 40°C.
0	1.000	0.0178	0.0131	0.0101	0.0081	0.0066
2	1.012	0.0185	0.0136	0.0105	0.0084	0.0069
4	1.027	191	141	108	087	071
6	1.040	197	145	112	090	073
8	1.052	203	149	115	092	075
10	1.067	209	154	119	095	078
12	1.080	0.0216	0.0159	0.0122	0.0098	0.0080
14	1.096	223	164	127	102	083
16	1.110	231	170	121	105	086
18	1.127	240	177	136	109	089
20	1.141	250	184	142	113	093
22	1.160	0.0260	0.0192	0.0148	0.0118	0.0097
24	1.175	272	200	154	124	101
26	1.192	286	210	162	130	106
28	1.210	302	222	171	137	112
30	1.230	319	235	181	145	118
32	1.249	0.0341	0.0251	0.0194	0.0155	0.0126
34	1.268	366	270	208	167	136
36	1.289	400	294	227	182	148
38	1.310	439	323	249	199	162
40	1.330	487	358	276	221	180
42	1.353	0.0551	0.0405	0.0313	0.0250	0.0204
44	1.376	640	471	363	292	238
46	1.400	785	557	445	356	291
48	1.428	1010	745	574	460	375
50	1.450	0.1482	0.1090	0.0842	0.0675	0.0550

滯性率(註14)，茲分析其結果，得公式如下：

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 - K \left(\frac{C}{1 - C} \right)^n} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right) \dots \dots \dots (4)$$

式中 ν = 渾水之動滯性率 $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right)$

ν_0 = 溫度相等時清水之動滯性率 $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right)$ ，可由第(3)式計算之。

C = 含泥量

K = 常數。略視土粒粗細而異，普通黃土 K = 0.88

n = 0.81

第四表表示渾水之么重與動滯性率(按渾質之真么重 $\delta = 2.65$ 計算)。第一圖為渾水動滯性率之線規圖。

綜上各點，吾人對於泥沙分類命名之標準，應考慮之因素，至少須能包括下列五點，始為合理。

1. 沙粒之粗細，
2. 沙粒之形狀，
3. 沙粒之么重，
4. 渾水之么重，
5. 渾水之動滯性率。

(三) 浮沉定律

物體在靜止之液體中，上浮或下沉時，物體本身之作用力，即為該物體在液體內之有效重量W：

$$W = V(\rho_0 - \rho)g = V(\delta - \gamma) \dots \dots \dots (5)$$

式中 W = 有效重量(Gr)

V = 物體之容積(cm^3)

ρ_0 = 物體之密度 $\left(\frac{\text{gr. sec}^2}{\text{cm}^4} \right)$

ρ = 液體之密度 $\left(\frac{\text{gr. sec}^2}{\text{cm}^4} \right)$

δ = 物體之么重 $\left(\frac{\text{Gr.}}{\text{cm}^3} \right)$

γ = 液體之么重 $\left(\frac{\text{Gr.}}{\text{cm}^3} \right)$

g = 重力加速率 $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} \right)$

設物體係一球體，直徑為 d(cm)，則

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 - 0.88 \left(\frac{C}{1 - C} \right)^{0.81}}$$

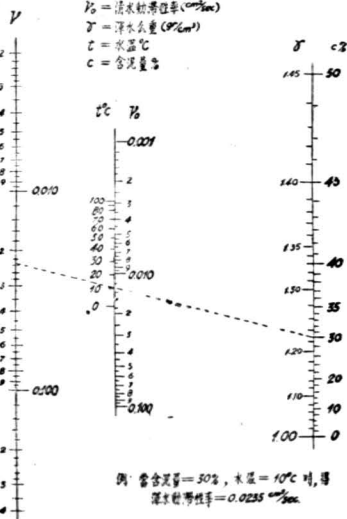
ν = 渾水動滯性率 (cm^2/sec)

ν_0 = 清水動滯性率 (cm^2/sec)

γ = 渾水么重 (Gr/cm^3)

δ = 水么重

C = 含泥量



第一圖

$$W = V(\delta - \gamma) = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3(\delta - \gamma) \dots\dots\dots (6)$$

設物體之運動，達最終速率時，則成等速運動，該時物體之有效重量，應恰與液體對該物體所生之阻力 R 相等，而呈平衡狀態。

$$W = R \dots\dots\dots (7)$$

按牛頓定律(註15)，液體對物體運動之阻力，如下式：

$$R = \psi \gamma F \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (8)$$

式中 R = 阻力 (Gr.)

ψ = 阻力係數

F = 物體垂直於運動方向之面積 (cm²)

v = 物體之速率，(浮沉速率)， $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}}\right)$

設物體為一球體，其直徑為 d (cm)，則

$$R = \psi \gamma \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (9)$$

在等速運動時，W=R，將第(6)式與第(9)式，代入第(7)式，則得阻力係數 ψ ，

$$\psi = \frac{4}{3} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right) g \frac{d}{v^2} \dots\dots\dots (10)$$

阻力係數 ψ ，視物體之形狀，位置而定，且為雷氏數 R (Reynolds number) 之函數。雷氏數為一無因次之「純數」(Pure number)，如下式：

$$R = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots (11)$$

式中： R = 雷氏數

v = 物體之速率 $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}}\right)$

d = 物體之粒徑 (cm.)

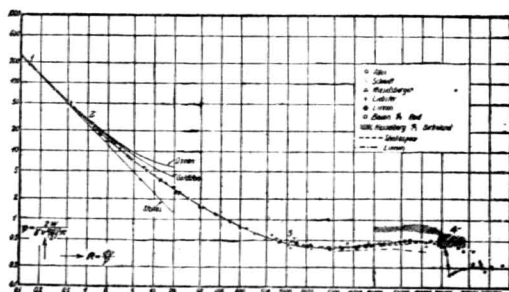
ν = 液體之動滯性率 $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}\right)$

第二圖示球體阻力係數與雷氏數之關係。第三圖示各種型體阻力係數與雷氏數之關係。按阻力係數 ψ 為雷氏數 R 之函數，普通實用上，在某一定區域內，可簡畫如下式：

$$\psi = f(R) = AR^n \dots\dots\dots (12)$$

式中： A = 常數

n = 雷氏數之指數



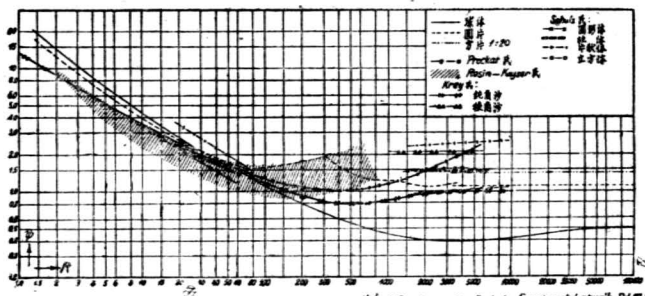
第二圖

註 15: H. Rouse, "Hydrology of Engineering", McGraw-Hill, 1938, p. 100.

將第(10)式及第(11)式代入第(12)式，則得物體運動速率與粒徑之公式。

$$v = \left(\frac{4g}{3A} \right)^{\frac{1}{2+n}} \gamma^{\frac{-n}{2+n}} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)^{\frac{1}{2+n}} d^{\frac{1-n}{2+n}} \dots\dots\dots (13)$$

$$d = \left(\frac{3A}{4g} \right)^{\frac{1}{1-n}} \gamma^{\frac{-n}{1-n}} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)^{\frac{-1}{1-n}} v^{\frac{2+n}{1-n}} \dots\dots\dots (14)$$



第三圖

阻力係數 ψ 與雷氏數 R 之關係，視物體運動時，所引起四周液體流性之不同，概可分為(1)滯流區(Laminar或Deformation Drag)，(2)介流區(Transition或Surface Drage 與'3，激流區(Turbulent或Form Drag)等三段。

第一段 滯流區 (第二圖 1-2)

$$R < 0.1 \sim 0.4 \quad n = -1, \quad A = 24$$

$$\psi = \frac{24}{R} \dots\dots\dots (15)$$

此式首為G.G.Stokes氏所發表(註16)，故稱「司篤克定律」，轉近用沉澱法，分析土壤之粒

徑(粒徑 $< 0.05 \sim 0.08$ 者)，即由本式轉算而得之。司篤克定律 $\psi = \frac{24}{R}$ ，可化為

$$v = \left(\frac{4g}{3 \times 24} \right)^{\frac{1}{2+n}} \gamma^{\frac{-n}{2+n}} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right) d^2 \dots\dots\dots (16)$$

或

$$v = \frac{2}{9} \frac{\delta - \gamma}{\mu} \left(\frac{d}{2} \right)^2 \dots\dots\dots (17)$$

式中 $\mu = \text{滯性率} = \gamma \theta = \frac{\gamma}{g} \left(\frac{\text{Gr. sec}}{\text{cm}^2} \right)$

第二段 介流區 (第二圖 2-3)

$$R \approx 0.08 \sim 1000, n \approx -\frac{1}{2}, A \approx 20$$

$$\psi \approx \frac{20}{R^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (18)$$

$$v \approx \left(\frac{4g}{60}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\nu^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{\delta}{\nu} - 1\right)^{\frac{1}{2}} d \dots \dots \dots (19)$$

第三段 激流區 (第二圖 3-4)

$$R > 1000, n \approx 0, A \approx 0.4 \sim 0.5 (\text{球體})$$

$$\psi \approx 0.4 \sim 0.5 (\text{常數}) \dots \dots \dots (20)$$

$$v \approx \left(\frac{4g}{1.5}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\nu} - 1\right)^{\frac{1}{2}} d^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (21)$$

本段阻力係數 ψ ，與雷氏數 n 已無顯著之關係，近成一常數，牛頓之阻力定律完全適用。

(四) 沉速命名分類法

上節各式，物體靜止之液體中，上浮或下沉之速率定律；可見物體在液體中運動之速率，視該物體之粗細，形狀，比重；以及液體之比重，動滯性率等，種種因素而定，而成一綜合函數。吾人苟能利用泥沙在靜水中之下沉速率（簡稱沉速），作為泥沙分類命名標準；實較現行僅憑粒徑一項，作分類之標準者，具有更直捷，更基本之意義。

按照沙粒在靜水中之沉速，作泥沙分類命名之標準者；印度之灌溉工程師，採用已久（註17）。例如某種泥沙，在靜水中之沉速，為每秒0.1英尺（0.1 ft./sec），則該沙之名為0.1。設某種泥沙，由粗細不同之顆粒組合而成者；經測定知該沙之最大沉速為每秒0.1英尺（0.1 ft./sec），最小沉速為每秒0.05英尺；則該沙之名為 $\frac{0.1}{0.05}$ 。

1930年 W. W. Rubdy 氏（註18），曾建議以泥沙在靜水中之沉速，作分類命名之標準，其規定如第五表：

第 五 表

按近世流體力學理論，水流之挾運泥沙，由於流水向上之分速，故在同一水流狀況內，凡沉速較小之泥沙，常較沉速之大者，易於沖刷，而難於淤積；是以根據泥沙之沉速，作分類命名之標準，實為研究泥沙沖積問題之一大進步。惜尚未為水工學術界所注意，而廣為採用。惟此種基本標準，是否能再有改善，使包括更廣泛之基本意義，急待吾人深究之。

名 稱	沉速 mm./sec
極細沙 (Very fine Sand)	> 3.84
粗 泥 (Coarse Silt)	0.96~3.84
中 泥 (Medium Silt)	0.24~0.96
細 泥 (Fine Silt)	0.06~0.24
極細泥 (Very fine Silt)	0.015~0.06
粗 埴 (Coarse Clay)	0.00375~0.015
中 埴 (Medium Clay)	0.0009375~0.00375
細 埴 (Fine Clay)	< 0.0009375

根據沉速，作分類命名標準，尚須改進之點，有三：

(1) 沉速之單位為 $\left(\frac{\text{mm}}{\text{sec}}\right)$ 或 $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}}\right)$ ，其次為 $[LT^{-1}]$ ，故沉速必須附註其單位；而非

一無因次之純數，各國因度量衡制度不同，難期國際間統一採用。

(2) 僅知泥沙之沉速，而不附註其粒徑，及液體之動滯性率，即不能求得雷氏數，以定該種沙粒所屬運動定律之範圍。

(3) 不符合雷氏相似原理，即同一沉速之泥沙，其運動性質，未必相同也。

(五) 沙 氏 數

(一) 水力相似性

物體在液體中運動，輒受液體滯性之影響；故阻力係數 ψ ，為雷氏數 R 之函數，已如前述。設某定型顆粒，在靜止之液體中運動，其粒徑為 d_1 ，液體之動滯性率為 γ_1 ，速率為 v_1 ；則該顆粒之雷氏數 $R_1 = \frac{d_1 v_1}{\gamma_1}$ 。設另有一同型之顆粒，其粒徑為 d_2 ，在另一種液體內運動，其動滯性率為 γ_2 ，

速率為 v_2 ；則該顆粒之雷氏數 $R_2 = \frac{d_2 v_2}{\gamma_2}$ ；倘 $R_1 = R_2$ ，則此兩種顆粒之運動定律，能完全相似，而附合雷氏相似定律。據此，吾人就泥沙之沖積問題言，苟能運以泥沙在靜水中運動之雷氏數，作為分類命名之標準，當較僅以沉速一項，作標準者，具有更基本之意義；且雷氏數為一無因次之純粹數目，不必附註單位，對於水工模型試驗設計，尤屬有利。

根據泥沙在靜水中運動之雷氏數，作分類命名標準，吾人將遇一困難；蓋雷氏數中，必須包括粒徑 d 。但泥沙之粒徑，隨顆粒之形狀而變，除純粹球形者外，即非具體之物理數量，已如前述。故欲利用雷氏數作分類命名標準，雖屬理想，但事實上困難殊多。

(二) 沙 氏 數

按雷氏數 $R = \frac{d \cdot v}{\gamma}$ ，將第(14)式 d ，代入雷氏數內，則得：

$$R = \left(\frac{3A}{4}\right)^{1-n} \left[\frac{v}{\gamma^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1\right)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{1-n}} \quad (22)$$

上式中 $\left[\frac{v}{\gamma^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1\right)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{1-n}}$ 為另一無因次之純數，可命名曰「沙氏數」(Sha's number)，

其符號為 S ，如下式：

$$S = \frac{v}{\gamma^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (23)$$

式中： S = 沙氏數(無因次數目)

$$v = \text{物體之速率} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$$

$$\gamma = \text{液體之動滯性率} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right)$$

$$g = \text{重力加速度} \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} \right)$$

$$\delta = \text{物體之比重} \left(\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$\gamma = \text{液體之比重} \left(\frac{\text{gr.}}{\text{cm}^3} \right)$$

上列沙氏數內所包括之各種因素，概係具體之物理數量，均可用儀等，精密測定之。第四圖示沙氏數線規圖。沙氏S數與雷氏數R之關如下式：

$$\bar{R} = \left(\frac{3A}{4} \right)^{\frac{1}{1-n}} S^{\frac{3}{1-n}} \dots \dots \dots (24)$$

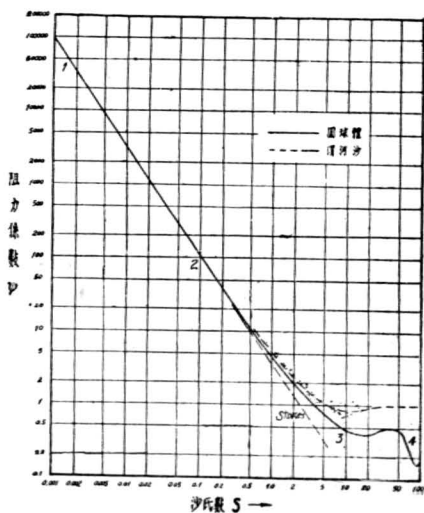
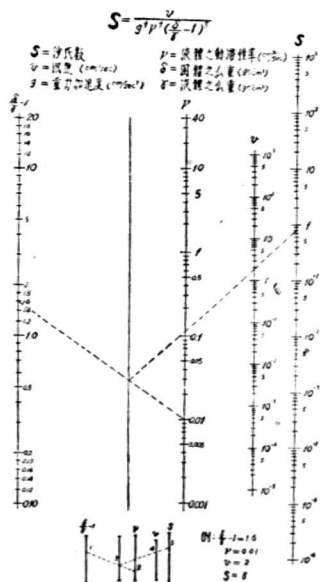
或

$$S = \left(\frac{4}{3A} \right)^{\frac{1}{3}} R^{\frac{1-n}{3}} \dots \dots \dots (25)$$

可見沙氏數S為雷氏數R之函數，吾人苟能用作為泥沙分類命名之標準，較往昔以粒徑或流速作標準者，不特具有更基本之意義，且符合雷氏相似性定律，而無決定雷氏數，必先知粒徑之困難。

(三) 沙氏數與阻力係數

按阻力係數為雷氏數之函數， $\psi = AR^n$ ，將第(24)式代入之，則得沙氏數與阻力係數之關係，



第 五 圖

$$\psi = \left(\frac{3}{4} \right)^{\frac{n}{1-n}} \frac{1}{A} \frac{1}{1-n} S^{-\frac{3n}{1-n}} \dots \dots \dots (26)$$

命

$$\left(\frac{3}{4} \right)^{\frac{n}{1-n}} \frac{1}{A} \frac{1}{1-n} = B, \quad \frac{3n}{1-n} = m$$

則

$$\psi = B S^m \dots \dots \dots (27)$$

式中B為常數，m為沙氏數之指數；在各種不同流區內，其概值如下：

第一段 滯流區（第五圖 1-2）

$$S < 0.1, \quad B = 5.65, \quad m = -\frac{3}{2}$$

即

$$\psi = \frac{5.65}{S^{\frac{3}{2}}} \dots \dots \dots (28)$$

第二段 介流區（第五圖 2-3）

$$S = 0.1 \sim 10, \quad I = 5.16, \quad m = -1$$

即

$$\psi = \frac{5.16}{S} \dots \dots \dots (29)$$

第三段 激流區（第五圖 3-4）

$$S > 10, \quad I = 0.4 \sim 0.5, \quad m = 0$$

即

$$\psi = 0.4 \sim 0.5 \text{ 常數} \dots \dots \dots (30)$$

第五圖示阻力係數與沙氏數之關係。

(四) 沙氏數與相當粒徑

按第(10)式與第(27)式，阻力係數 ψ 可書作：

$$\psi = \frac{4}{3} \left(\frac{v}{v_c} - 1 \right) \frac{d}{v^2} = B S^m$$

將第(23)式代換上式中之 v ，得相當粒徑 d 與沙氏數 S 之關係，

$$d = \frac{3}{4} B \frac{\nu^{\frac{3}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{v}{v_c} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S^{m+2} \dots \dots \dots (31)$$

常數B，指數m，視物體運動，所屬之流區而定。

第一段 滯流區

$$S < 0.1, \quad B = 5.65, \quad m = -\frac{3}{2}$$

$$d = 4.2 \frac{\nu^{\frac{3}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{v}{v_c} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (32)$$

第二段 介流區

$$S = 0.1 \sim 10, E \approx 5.16, m \approx -1$$

$$d \approx 3.88 \frac{\gamma^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S \dots \dots \dots (33)$$

第三段 激流區

$$S > 10, E \approx 0.4, m \approx 0$$

$$d \approx 3.4 \frac{\gamma^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S^2 \dots \dots \dots (34)$$

(六) 標準沙氏數

按沙氏數內所含之變量，可分沙質的與水質的兩類。對於某定型沙粒（沙質不變），沙氏數則隨水質而異，非一常數，已如前述。是以吾人欲利用此種純數，作分類命名標準，俾得與其他類型之沙粒，互相比較；對於水質一項，應有明確規定。

影響水質之因素：一為水內所含之渾質（如泥土鹽份等）；二為水之溫度。前者可規定為不含渾質之清水（即蒸留水），殊屬簡易；至於水之溫度，著者曾比較研究球形沙粒（ $\delta = 2.65$ ）之粒徑，在各種不同水溫內，各與其沙氏數之關係；發見水溫在 $10^{\circ}C$ 時，沙氏數與國際土壤分類命名標準之粒徑 d (mm) 之關係如下：（參考第一表）

沙氏數S。	粒徑d(mm)
10	2
1	0.2
0.01	0.02
0.0001	0.002
0.000001	0.0002

故吾人規定以 $10^{\circ}C$ 為水溫之標準，實用上較為簡便，且與現行國際標準相一致。

某定型沙粒，在無限大靜止之清水中，水溫 $10^{\circ}C$ ，由其自身重量，下沉等速運動之沙氏數，可命名曰「標準沙氏數」。其符號為 S_0 。

測定泥沙之標準沙氏數，以能在上列規定條件下舉行，最為準確。但實際上容有困難，則可改在 $10^{\circ}C$ 附近之清水內測定，再用公式，轉算得之。

$$\text{按第(31)式： } d = \frac{3}{4} B \frac{\gamma^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\sigma} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S^{m+2}$$

設有註脚 \circ 者，示水溫 $10^{\circ}C$ 時之變量；無註脚者，為任何水溫時之變量。對於同一沙粒，則 $d_{\circ} = d$, $\delta_{\circ} = \delta$ ；在同一地點，則 $g_{\circ} = g$ ；設沙粒運動，在同一流區以內，則 $B_{\circ} = B$, $m_{\circ} = m$ ；因得 S 與 S_{\circ} 之比值 K ，如下式：

$$K = \frac{S_0}{S} = \left[\frac{\left(\frac{\delta_c}{\gamma_c} - 1 \right)}{\left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)} \right]^{3m+2} \left(\frac{\nu}{\nu_c} \right)^{2(3m+2)} \dots \dots \dots (35)$$

式中指數m，視沙粒運動所屬之流區而定，如

下：

第一段 滯流區

$$S < 0.1, m = -\frac{3}{2}$$

$$K = \frac{S_0}{S} = \left[\frac{\left(\frac{\delta_c}{\gamma_c} - 1 \right)}{\left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)} \right]^2 \left(\frac{\nu}{\nu_c} \right)^4 \dots \dots \dots (36)$$

第二段 介流區

$$S = 0.1 \sim 10, m = -1$$

$$K = \frac{S_0}{S} = \left[\frac{\left(\frac{\delta_c}{\gamma_c} - 1 \right)}{\left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)} \right]^3 \left(\frac{\nu}{\nu_c} \right)^2 \dots \dots \dots (37)$$

第三段 激流區

$$S > 10, m = 0$$

$$K = \frac{S_0}{S} = \left[\frac{\left(\frac{\delta_c}{\gamma_c} - 1 \right)}{\left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)} \right]^1 \left(\frac{\nu}{\nu_c} \right)^1 \dots \dots \dots (38)$$

測定泥沙之沙氏數，設所用之水質，為純粹瀟水，沙粒之么重為 $2.65 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$ ，在各種不同流

區與溫度之K值，概如第六表：

上列第(36)(37)(38)各式，除滯流區第(39)式，較為準確外，餘均為近式；苟水溫與規定者相差過遠，輒易發生顯著差誤；故在測定標準沙氏數 S_0 ，對於所用水質之溫度，以能使與規定溫度 $20^\circ C$ 相接近為妥。

(例一) 設有某沙粒，經在 $20^\circ C$ 清水內，測定其沉速 $v = 10.0$ (cm/sec)，么重 $\delta = 2.65$ (gr./cm³)，求該沙粒之標準沙氏數。

按 $20^\circ C$ 清水之動滯性率 $\nu = 0.0101$ (cm²/sec) (見第四表)，故得沙氏數 S 如下：

$$S = \frac{\nu}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \nu^{\frac{1}{2}}} = \frac{10}{980^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2.65}{1} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} 0.0101^{\frac{1}{2}}} = 3.95$$

第六表 K 值表

溫度 $^{\circ}C$.	K 值		
	滯流區 $S < 0.1$	介流區 $S = 0.1-10$	激流區 $S > 10$
0	1.525	1.205	1.109
1	1.452	1.205	1.100
2	1.392	1.180	1.086
3	1.323	1.150	1.072
4	1.268	1.126	1.063
5	1.221	1.105	1.053
6	1.166	1.081	1.039
7	1.061	1.028	1.015
8	1.040	1.021	1.010
9	1.020	1.010	1.005
10	1.000	1.000	1.000
11	0.960	0.986	0.989
12	0.927	0.963	0.981
13	0.893	0.945	0.972
14	0.865	0.930	0.964
15	0.837	0.915	0.957
16	0.806	0.898	0.948
17	0.778	0.882	0.939
18	0.750	0.866	0.931
19	0.729	0.854	0.924
20	0.704	0.839	0.916
21	0.682	0.826	0.909
22	0.650	0.812	0.901
23	0.638	0.729	0.894
24	0.623	0.789	0.888
25	0.602	0.776	0.881
26	0.584	0.761	0.874
27	0.567	0.753	0.868
28	0.549	0.741	0.861
29	0.533	0.730	0.854
30	0.519	0.721	0.849
31	0.503	0.709	0.842
32	0.490	0.700	0.837
33	0.477	0.691	0.831
34	0.464	0.681	0.825
35	0.452	0.672	0.820
36	0.441	0.664	0.815
37	0.429	0.655	0.809
38	0.417	0.646	0.804
39	0.406	0.637	0.798
40	0.396	0.629	0.793

因沙氏數 $S = 3.95$ ，該值大於 0.1，小於 10，屬介流區，由第六表，查得 $K = 0.839$ ，故標準沙氏數 $S_0 = KS = 0.839 \times 3.95 = 3.31$ 。

(例二) 設上例沙粒， $S_0 = 3.31$ ，在水溫 20°C ，含泥量 $C = 20\%$ 之黃土渾水內，問該沙粒之實際沙氏數應為若干？

上例沙粒之粒徑約 0.65mm ，大於黃土粒徑 ($d = 0.01\text{mm}$) 65 倍，可假若黃土渾水為均勻性液體。按溫度 20°C ，含泥量 $C = 20\%$ 之渾水，由第四表查得水質之比重 $\gamma = 1.141$ (gr./cm^3)，動滯性率 $\gamma' = 0.0142$ (cm^2/sec)。因 $S_0 = 3.31$ ，屬介流區。將上列各值，代入第(37)式，則得

$$\frac{S_0}{S} = K = \left[\frac{\left(\frac{S_0}{S_0} - 1 \right)}{\left(\frac{\delta}{\delta} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\gamma'}{\gamma_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{\left(\frac{2.65}{1} - 1 \right)}{\left(\frac{2.65}{1.141} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{0.0142}{0.0131} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.13$$

故得 $S = \frac{S_0}{K} = \frac{3.31}{1.13} = 2.93$ 。

由上二例，可見某定型沙粒之沙氏數，非一常數，輒隨水溫之降低或含泥量之增加而減小；沙氏數愈小，冲刷愈易；間接足以影響流水挾運泥沙之能力。例如 A. H. Gibson 氏，引美國工程新聞謂：「在含有粒徑 0.3mm 細沙之渾水中，其挾運粒徑 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 泥沙之重量，可較清水時增加四倍」。(註 19)。是以吾人研究河渠之沖積問題，對於泥沙一項，僅測其粒徑，已感不足；應就實際之沙粒與水質（包括溫度含泥量等），定其沙氏數，以示該沙粒與水質之相對品性，方屬合理。

(七) 模型試驗定律

按物體在靜止之液體中運動（上浮或下沉），其阻力係數 ψ 為沙氏數 S 之函數， $\psi = f(m)$ ；此函數在某一定區域內，實用上可簡近為式如下：

$$\psi = BS^m \dots \dots \dots (39)$$

式中常數 B ，指數 m ，視物體之品狀及運動所屬之流區而定，已如前述。設原體之阻力係數為 ψ_1 ，常數為 B_1 ，流區指數為 m_1 ；沙氏數為 S_1 ；又模型之阻力係數為 ψ_2 ，常數為 B_2 ，指數為 m_2 ，沙氏數為 S_2 。據水力相似定理，原體與模型欲完全相似，必須保持下列之條件；即

$$\psi_1 = \psi_2$$

$$B_1 = B_2$$

$$m_1 = m_2$$

故原體與模型完全相似時，二者之沙氏數應相等。即

$$S_1 = S_2$$

按第(23)式， $S = \frac{v}{\gamma^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\delta} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}}$ ；在原體與模型完全相似時， $S_1 = S_2$ ，即

$$\frac{v_1}{\gamma_1^{\frac{1}{2}} \delta_1^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_1}{\delta_1} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{v_2}{\gamma_2^{\frac{1}{2}} \delta_2^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_2}{\delta_2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (40)$$

又按第(31)式： $d = \frac{3B}{4} \frac{\gamma^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\delta} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} S^{m+2}$ ，在原體與模型完全相似時，

$B_1 = B_2$, $m_1 = m_2$, $S_1 = S_2$; 則:

$$d_1 \frac{g_1^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_1 - 1}{\gamma_1} \right)^{\frac{1}{2}}}{\gamma_1^{\frac{1}{2}}} = d_2 \frac{g_2^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_2 - 1}{\gamma_2} \right)^{\frac{1}{2}}}{\gamma_2^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (41)$$

設原體與模型長度之比率為 λ , 時間之比率為 τ , 力量之比率為 γ , 則

$$\frac{\text{原體長度}}{\text{模型長度}} = \frac{L_1}{L_2} = \lambda \dots \dots \dots (42)$$

$$\frac{\text{原體時間}}{\text{模型時間}} = \frac{T_1}{T_2} = \tau \dots \dots \dots (43)$$

$$\frac{\text{原體力量}}{\text{模型力量}} = \frac{K_1}{K_2} = \gamma \dots \dots \dots (44)$$

根據第 (40) 式與第 (41) 式, 即可求得基本物理比率之關係:

$$\lambda = \frac{L_1}{L_2} \frac{d_1}{d_2} = \frac{g_2^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_2 - 1}{\gamma_2} \right)^{\frac{1}{2}} \gamma_1^{\frac{1}{2}}}{g_1^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_1 - 1}{\gamma_1} \right)^{\frac{1}{2}} \gamma_2^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (45)$$

$$\tau = \frac{v_2}{v_1} \lambda = \frac{V_2}{V_1} \lambda^2 \dots \dots \dots (46)$$

$$\gamma = \frac{(\delta_1 - \gamma_1) d_1^3}{(\delta_2 - \gamma_2) d_2^3} = \frac{g_2 \gamma_1 V_1^2}{g_1 \gamma_2 V_2^2} \lambda^0 = \frac{(\delta_1 - \gamma_1)}{(\delta_2 - \gamma_2)} \lambda^3 \dots \dots \dots (47)$$

根據上列基本物理量之比率, 其他物理量之比率, 均可推算如下:

體積比率	λ^3
面積比率	λ^2
時間比率	$\left(\frac{V_2}{V_1} \right) \lambda^2$
長度比率	λ
工作比率	$\frac{g_2 \gamma_1 V_1}{g_1 \gamma_2 V_2} \lambda$ 或 $\frac{(\delta_1 - \gamma_1)}{(\delta_2 - \gamma_2)} \lambda^4$
力量比率	$\frac{g_2 \gamma_1}{g_1 \gamma_2} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \lambda^0$ 或 $\frac{(\delta_1 - \gamma_1)}{(\delta_2 - \gamma_2)} \lambda^3$
能力比率	$\frac{g_2 \gamma_1}{g_1 \gamma_2} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \lambda^{-1}$ 或 $\frac{(\delta_1 - \gamma_1)}{(\delta_2 - \gamma_2)} \lambda^2$
速率比率	$\frac{V_1}{V_2} \lambda^{-1}$
單位面積力比率	$\frac{g_2 \gamma_1}{g_1 \gamma_2} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \lambda^{-2}$ 或 $\frac{(\delta_1 - \gamma_1)}{(\delta_2 - \gamma_2)} \lambda$
加速率比率	$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \lambda^{-3}$

普通水工模型，概可分縮小與放大兩種，縮小模型之 $\lambda > 1$ ；放大模型之 $\lambda < 1$ 。根據第(45)式，對於模型比重 δ_2 ，液體比重 γ_2 ，液體動滯性率 ν_2 之選擇如下：

縮小模型 $\lambda > 1$ ， $\delta_2 > \delta_1$ ， $\gamma_2 < \gamma_1$ ， $\nu_2 < \nu_1$ 。

放大模型 $\lambda < 1$ ， $\delta_2 < \delta_1$ ， $\gamma_2 > \gamma_1$ ， $\nu_2 > \nu_1$ 。

(例三) 設有石礫一塊，其最大直徑約 100mm，因受儀器限制，不能直接量其沉速，而定標準沙氏數；試作一模型測定之。已知：該石礫之比重 $\delta_1 = 2.65$ (gr/cm³)，水溫 10°C，水之比重 $\gamma_1 = 1.000$ (gr/cm³)，動滯性率 $\nu_1 = 0.0131$ (cm²/sec)

按此係縮小模型， $\lambda > 1$ ，應選用 $\delta_2 > \delta_1$ ， $\gamma_2 < \gamma_1$ ， $\nu_2 < \nu_1$ 。

假定模型以鉛質製造，則比重 $\delta_2 = 11.25$ (gr/cm³)，液體用輕油精 (Benzin)，溫度 20°C，則 $\gamma_2 = 0.865$ (gr/cm³)； $\nu_2 = 0.00731$ (cm²/sec)，並假設 $g_1 = g_2 = 980$ (cm/sec²)，按第(45)式：

$$\lambda = \frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1}{d_2} \left[\frac{g_2 \left(\frac{\delta_1}{\gamma_1} - 1 \right)}{g_1 \left(\frac{\delta_2}{\gamma_2} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

故得長度比率如下：

$$\lambda = \left[\frac{\left(\frac{11.25}{0.865} - 1 \right)}{\left(\frac{2.65}{1} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{0.0131}{0.00731} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.84$$

鉛質模型之最大粒徑 $d_2 = \frac{d_1}{\lambda} = \frac{100}{2.84} = 35.2$ mm。測定此鉛質模型在輕油精內之沉速，計算其沙氏數，即等於該石礫之標準沙氏數。

(例四) 設由顯微鏡觀察，已知某黃土顆粒之大小 (徑約 0.010mm)，與形狀。試作一肉眼可見之模型，以觀察該土在 20°C 清水中，下沉運動之情形。已知該土粒之比重 $\delta_1 = 2.65$ (gr/cm³)，20°C 清水之比重 $\gamma_1 = 1.000$ (gr/cm³)，動滯性率 $\nu_1 = 0.0101$ 。

按此係放大模型， $\lambda < 1$ ，應選用 $\delta_2 < \delta_1$ ， $\gamma_2 > \gamma_1$ ， $\nu_2 > \nu_1$ 。

假定模型土粒以瀝青土 (Asphalt) 製造，則比重 $\delta_2 = 1.50$ (gr/cm³)，液體選用動滯性率較大之甘油，溫度 18°C，其比重 $\gamma_2 = 1.26$ (gr/cm³)，動滯性率 $\nu_2 = 7.95$ (cm²/sec)，將上列各值，代入第(45)式，則得 $\lambda = 0.00563$ ；故模型粒徑 $d_2 = \frac{d_1}{\lambda} = \frac{0.010}{0.00563} = 1.78$ mm，肉眼觀察已無困難。

(八) 泥沙分類命名

自然界之泥沙，按其顆粒粗細，物理性質，概可分為石礫，素土，膠土，膠質四種。

第一類 石礫類

岩石崩裂，受水流衝擊，互相摩擦，漸呈球形，質以石英居多；倘母岩石質為花崗石，頁岩，玄武岩等，含有他種礦質者，則略呈不規則之鈍角塊狀。

(1) 頑石 河底之巨大石塊，標準沙氏數在 300 以上；粒徑約在 2,500mm 以上。

(2) 礮石 (河工名謂)百斤左右之青紅石塊,皆曰礮石,標準沙氏數 S_o 自 100 至 300,粒徑約自 300 至 2,500mm.

(3) 砬 音子(玉簫)石名。又稱「石子」(河工要義)。石子亦曰「河光石」,河中常有,就地取材。砬分大小兩種:

大砬 $S_o = 60 \sim 100$; 粒徑約 100~300mm.

小砬 $S_o = 30 \sim 60$; 粒徑約 25~100mm.

(4) 礫 (說文)小石也。(河工名謂)大石擊碎之小石也。

礫分粗礫細礫兩種。

粗礫 $S_o = 20 \sim 30$; 粒徑約 10~25mm.

細礫 $S_o = 10 \sim 20$; 粒徑約 2~10mm.

石礫在水中運動,屬激流區,阻力係數約等於 1; 適用牛頓定律。

第二類 素土類

素土係缺乏粘性之土質。(河工要義)素土者其性滲透,其質疎散,團之不能成聚之沙土也。相當德文之「Nichtbindise Boden。」

(1) 沙 (說文)水散石也。(河工輯要)沙之種類有十:如飛沙,泡沙,鐵屑沙,皆係乾土,尚不難挑挖;此外如水中沙,青沙,鐵屑沙,馬牙沙,扯皮沙,其性易乾,亦易施工;惟有淘沙,翻沙最難爲力。

沙粒粗者,略呈球形,質與石礫相似,細者則多棱角;蓋因沙粒四周,受水膜保護,摩蝕較難。

沙分粗沙,中沙,細沙三種:

粗沙 $S_o = 3 \sim 10$; 粒徑約 0.57~2mm,

中沙 $S_o = 1 \sim 3$; 粒徑約 0.20~0.57mm,

細沙 $S_o = 0.3 \sim 1$; 粒徑約 0.11~0.20mm.

沙在水中之運動定律,屬介流區。

(2) 壤 (康熙字典)糜音莫,塵也。相當於 Terza Shi 氏所定之 Mo。壤之顆粒形狀,及其成份,與細沙相似,係極細之岩石粉末。我國西 各省之黃土,概屬此類。(河工要義)黃土無論乾溼,性波練鬆,故其禦水之力,不及膠土。黃土之成份,石英佔 60~75%,黃壤與石灰約佔 5~25%,餘則爲其他礦質。

壤分粗壤,中壤,細壤三種:

粗壤 $S_o = 0.1 \sim 0.3$; 粒徑約 0.064~0.11 mm,

中壤 $S_o = 0.03 \sim 0.1$; 粒徑約 0.035~0.064mm,

細壤 $S_o = 0.01 \sim 0.03$; 粒徑約 0.020~0.035mm.

粗壤在水中之運動定律,屬介流區。中壤細壤屬滯流區。

第三類 膠土類

膠土係有粘性之土質,(河工要義)膠土者,其質細膩,其性膠黏,風揚不易揚塵,水刷亦難溶解,此外河所謂淤泥土也。相當德文之「Bindise Boden。」

(1) 泥 (前漢地理志)水即土也。(水經注)河水濁,清澄,一石水六斗泥。一作泥,(六書

第七表

分類命名	膠		土		土		土		石	
	細	中	粗	微	細	中	粗	細	中	粗
運動律	細	中	粗	微	細	中	粗	細	中	粗
標準沙式數 S_0	0.00001	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000	
粒徑 (mm)	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000	10000	
INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE	CLAY	F	C	SILT	F	C	M	SAND	F	M
U.S. DEPT. OF AGRICULTURE	CLAY	SILT (AS ABOVE)		SAND		GRAVEL		C		COARSE
CHARLES TERZAGHI	SCHLAMM	F	C	SCHLUFF	F	C	M	SAND	F	FINE
T.T. KNAPPEN & R.R. PHILIPPE (M.I.T.)	CLAY	F	C	SILT	F	C	M	SAND	F	MEDIUM
F.B. CAMPBELL (1937)	COLLOIDS	F	M	CLAY	F	M	C	SAND	F	LARGE
UDDEN (1949, 1914)	CLAY	F	M	CLAY	F	M	C	SAND	F	SMALL
ATTERBERG (1905)	CLAY	F	M	CLAY	F	M	C	SAND	F	VERY
WENTWORTH (1922)	CLAY	F	M	CLAY	F	M	C	SAND	F	BOULDER
U.S. BUREAU OF PUBLIC ROADS	CLAY	F	M	CLAY	F	M	C	SAND	F	BOULDERS
ACCORDING TO WEINIG	CLAY AND KAOLIN	SUSPENSIONS	SILT	CLAY	F	M	C	SAND	F	GRAVEL

泥沙分類命名比較表

中央水利實驗處 武漢農學院
國立西北農學院

試驗：懸液樣本重 2.65 g/cm³，水溫 10°C 計算

統)水即土也。泥、坭通。又稱淤。(說文)澱滓濁泥也。(河工輯要)淤之種類有四：曰乾淤，嫩淤，稀淤，夾沙淤。

泥之顆粒，較粗者其形狀與成份，與細壤相似。有時可大部由化學之分解質，如矽化鋁，鹼土，氧化鐵等所構成。或則含有他種物質，如矽藻(Diatoms)，浮石(Pumice)等。

泥分粗泥，中泥，細泥，微泥四種：

粗泥 $S_o = 0.003 \sim 0.01$; 粒徑約 $0.011 \sim 0.020$ mm.

中泥 $S_o = 0.001 \sim 0.003$; 粒徑約 $0.0064 \sim 0.011$ mm.

細泥 $S_o = 0.0003 \sim 0.001$; 粒徑約 $0.0035 \sim 0.0064$ mm.

微泥 $S_o = 0.0001 \sim 0.0003$; 粒徑約 $0.0020 \sim 0.0035$ mm.

(2) 埴 (說文)粘土也。(書禹貢)厥土赤埴壤。

埴之顆粒，已非岩石之粉屑，而為經化學分解以後，造成之次生物質；往昔以為非晶體，近則視為結晶體。形態不一，普通多鱗片狀。埴在土壤中之化學作用，較上列各種粗土為強。

埴分粗埴，中埴，細埴，微埴四種：

粗埴 $S_o = 0.00003 \sim 0.0001$; 粒徑約 $0.0011 \sim 0.0020$ mm.

中埴 $S_o = 0.00001 \sim 0.00003$; 粒徑約 $0.00064 \sim 0.0011$ mm.

細埴 $S_o = 0.000003 \sim 0.00001$; 粒徑約 $0.00035 \sim 0.00064$ mm.

微埴 $S_o = 0.000001 \sim 0.000003$; 粒徑約 $0.0002 \sim 0.00035$ mm.

第四類 膠質

膠 (說文)呢也。(徐曰)呢粘也。相當德文之「Kolloid」。

膠質屬土壤中極微細部份之總稱。顆粒在液體內，發生布朗氏運動(Brownian movement)。司篤克定律，已不適用。

膠之標準沙氏數小於 0.000001 ; 粒徑約小於 0.0002 mm.

根據標準沙氏數，擬定之泥沙分類命名標準，各名詞之來源，及其在物理性質上之區別，概述如上。茲將其他各家，以粒徑作分類命名之標準，列比較表如次，(見第七表。以資參證(註20)。

(九) 沙氏數配度

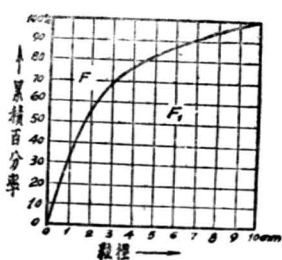
(一) 粒配度

自然界之泥沙，常由各種粗細不同之顆粒，組合而成。各類粒分配之程度，曰「粒配度」。普通以累積百分率作縱軸，以粒徑或粒徑之對數作橫軸，繪一曲線以表示之，曰「粒配度曲線」。惟此種圖示之曲線，今欲以一數目字代表之，俾可引入狹沙量公式之內，尚為水工學界急待解決之問題。

1893年 Allen Hazen 氏，首建議計21利用粒配度曲線，在60%之粒徑與在10%之粒徑之比值，以示粒配度，定名曰「勻度係數」(Uniformity coefficient)。

1926年，Schoklitsch 建議計22利用粒配度曲線，上下所包括之面積，如第六圖，取其比值，曰「沙性係數」，K：

$$K = \frac{F}{F_1} \dots \dots \dots (48)$$



第六圖

並以最大粒徑，附註沙性係數 K 之旁。例如某種沙樣粒徑分析結果，最大粒徑為 180 mm，而積比值為 $\frac{1}{2}$ ，則該沙樣之沙性係數 $K_{180} = \frac{1}{2}$ 。

1932 年，Kramer 建議 (註 23)，利用粒配度曲線上部所括之面積 E ，以及 F_a 與 F_b 之比值，見第七圖，以示粒配度。並定 F_a/F_b 比值曰「不勻度」。(Ungleichkornigkeitsgrad)。

(二) 沙氏數配度

上列諸法，較往昔僅以平均粒徑一項，表示某泥沙顆粒分配之性質者，已有進步，但其缺點，尚難根據此種已知之係數，重繪一粒配度曲線，使能與原來之曲線，完全符合。

將自然界各種測候資料，(如泥沙之沙氏數；河流之流量；各地之雨量，氣溫等)，各取量之對數，按其值之大小，順序排列 ($\log X_1, \log X_2, \dots, \log X_n$) 統計其出現之次數 f_1, f_2, \dots, f_n ，繪成曲線，通稱「機率曲線」(Probability Curve)。凡次數之分配，符合理論公式者，曰「常態分配」(Normal distribution)。將此種常態分配累積所得之頻率曲線 (Frequency Curve)，繪於 Hazen 之機率方格紙上 (註 24)，應成一直線，見第八圖 A-A，其幾何平均數 X_0 (Geometric mean)，應與幾何中位數 $X(50\%)$ (Geometric median) 相等，同位於頻率為 50% 之處。變量之對數 $\log X$ ，與 $\log X_0$ ，相差一幾何標準差 $\log \sigma$ (Geometric standard deviation) 者，其頻率理論上位於 15.9% 及 84.1% 二點，概如圖中之 $X(84.1\%)$ ， X_0 ， $X(15.9\%)$ 三點，成一直線。(註 25)

設機率曲線，與理論之常態分配曲線，略有偏差，則累積所得之頻率曲線，在機率方格紙上，中部稍呈彎曲，幾何平均數與幾何中位數，見第九圖 B-B，不復重合。其間相差之頻率百分數，曰「中平差數」，符號為 ε (Verzerrungszahl)。

幾何平均值 $\log X$ 之頻率即為 $(50 + \varepsilon)\%$ ，經此點作一縱綫，量得此曲線之頂點至常態直綫之縱座標距差 a ，則該曲線於其他諸特殊頻率之縱座標距差，概如下：

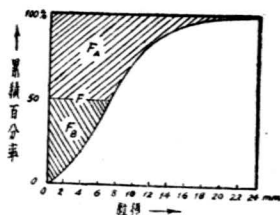
4.0 % 或 96 %	2a
0.73 % 或 99.27 %	4a
0.09 % 或 99.91 %	6a

又曲線 B-B 與常態頻率直綫 A-A，有兩交點，理論上應在 $\Sigma f = 17.3\%$ ，與 $\Sigma f = 82.7\%$ 之處。根據上列關係，當常態分配直綫之位置，以及中平差數 ε 決定以後，即不難將原有頻率曲線之位置，重新繪出。

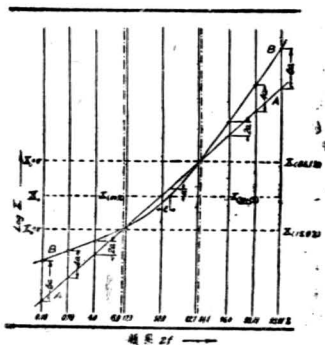
求幾何平均數 X_0 ，幾何標準差 σ ，中位差數 ε 之方法有三，茲分述如次：

(甲) 精算法

按幾何平均數 X_0 ，幾何標準差 σ ，中位差數 ε 之公式如下：(式中 n = 次數)。



第七圖



第八圖

$$\text{Log} X_0 = \frac{\sum \text{Log} X}{n} \dots \dots \dots (49)$$

$$\text{Log} \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log} X - \text{Log} X_0)^2}{n-1}} \dots \dots \dots (50)$$

$$\varepsilon = 7.79 \frac{\sum (\text{Log} X - \text{Log} X_0)^3}{(n-1)(\text{Log} \sigma)^3} \dots \dots \dots (51)$$

例如：涇河張家山水文站，民國31年8月7日，上午六時，所採之泥樣，含泥量 = 57.10%，河水流速 = 385.00cms，該泥樣標準沙氏數 S 之幾何平均數 S_0 ，幾何標準差 σ ，中位差數 ε ，各值計算方法列如下表：

第 八 表

標準沙氏數 S	機率 f	Log S	f · Log S	Δ	f Δ	f Δ^2	f Δ^3
0.000077	4.16	-4.111	-17.10	-1.289	5.360	6.910	-8.900
0.000101	1.44	-3.997	-5.75	-1.175	1.690	1.990	2.340
0.000155	0.92	-3.810	-3.50	-0.988	0.908	0.899	0.888
0.000230	1.27	-3.634	-4.61	-0.812	1.030	0.837	0.678
0.000370	7.41	-3.430	-25.40	-0.608	4.500	2.740	1.660
0.000690	14.50	-3.159	-45.80	-0.337	4.880	1.645	0.555
0.000800	11.30	-3.098	-35.00	-0.276	3.120	0.861	0.238
0.001030	7.70	-2.989	-23.00	-0.167	1.285	0.215	0.036
0.001450	11.10	-2.837	-31.50	-0.015	0.167	0.003	0.000
0.002710	11.20	-2.567	-28.70	+0.255	2.860	0.730	+0.186
0.004750	12.20	-2.323	-28.40	+0.499	6.090	3.040	1.520
0.008500	12.10	-2.072	-25.00	+0.750	9.070	6.800	5.100
0.016200	4.70	-1.790	-8.43	+1.032	4.850	5.000	5.160
100.00			-282.19			31.670	+11.970
							-15.290
							-3.330

$$\text{Log} S_0 = \frac{-282.19}{100} = -2.8219, \quad S_0 = 0.001505$$

$$\text{Log} \sigma = \sqrt{\frac{31.670}{99}} = 0.565, \quad \sigma = 3.67$$

$$\varepsilon = (7.79) \frac{-(3.33)}{(99)(0.565)^3} = -1.45$$

泥沙沙氏數分配之程度，曰「沙氏數配度」，沙氏數配度表示之方法，須包括沙氏數之幾何平均數 S_0 ，標準差 σ ，中平差數 ε 三項；

$$S = S_0(50 + \varepsilon\%) \times \sigma \dots \dots \dots (52)$$

上式 \times 為乘或除之符號，例如 $S(15.5\%) = S_0 + \sigma$ ； $S(84.1\%) = S_0 \times \sigma$ 。

上項涇河泥樣沙氏數配度，如下式：

$$S = 0.001505 (48.55\%) \times 3.67$$

(乙) 圖解法

上法所求 S_0 , ϵ , δ 各值, 最屬精密, 但計算較為複雜, 實際應用, 可由圖解法決定之。圖解法首將實測記錄, 給於 Hazen 機率方格紙上, 審慎聯一光順之曲線, 莫通過大部數據。(見第九圖), 檢讀與頻率為 84.1% 及 15.9% 相應之縱座標, 得 $S(84.1\%)$ 及 $S(15.9\%)$ 兩值。

因 $S_0 \times \sigma = S(84.1\%) \dots\dots\dots (53)$

$S_0 + \sigma = S(15.9\%) \dots\dots\dots (54)$

故 $S_0 = \sqrt{S(84.1\%) \times S(15.9\%) \dots\dots\dots (55)}$

$\sigma = \sqrt{S(84.1\%) + S(15.9\%) \dots\dots\dots (56)}$

S_0 求出後, 在圖上讀出其百分率, 得 $f(S_0\%)$ 故

$\epsilon = f(S_0\%) - 50\% \dots\dots\dots (57)$

(丙) 簡捷法

按上列二法, 以第一法最精, 第二法次之, 除做精密研究工作外, 普通應用, 尚可簡化, 即以在 50% 讀出之中位數 $S(50\%)$, 代幾何平均數 S_0 ; 並用與 84% 及 16% 相應之 $S(84\%)$ 及 $S(16\%)$ 求標準差 ϵ 。

$$\epsilon = \sqrt{\frac{S(84\%)}{S(16\%)}} \dots\dots\dots (58)$$

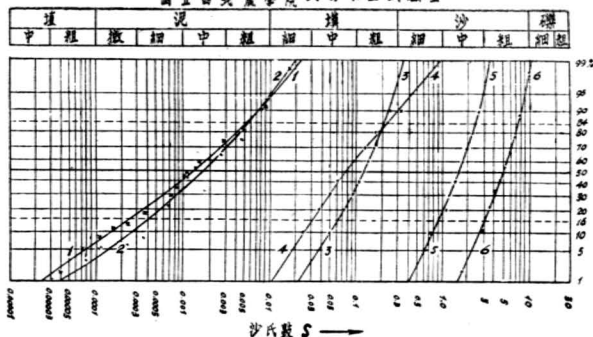
普通中平差數 ϵ 值, 常極微小, 可略去不計, 即以常態分配直綫, 為所求之曲綫。故沙氏數配

第九表

地點	涇河		永定河		渭惠渠渠底		
	含泥量2.58%	含泥量57.1%	雙營河底	三家店水流中	卅二公里處	渠首	
日期		31--8-7					
S_0	甲	0.00118	0.00151	0.11900	0.08300	1.50000	4.75000
	乙	0.00118	0.00169	0.11400	0.08570	1.45500	4.74000
	丙	0.00130	0.00170	0.13000	0.07500	1.60000	5.00000
ϵ	甲	4.28	3.67	1.68	2.11	1.58	1.52
	乙	4.38	3.44	1.84	2.68	1.62	1.53
	丙	4.50	3.54	1.87	2.73	1.63	1.53
δ	甲	2.042	1.450	1.600	5.730	6.510	4.970
	乙	2	3	3	5	7	5

備註: (甲) 精算法 (乙) 圖解法 (丙) 簡略法

中國水利委員會 武漢水工試驗室



實測：1-1 揚子江(含泥量 25.5%) 5-5 永定河(雙橋河段) 5-5 揚子江(二公區) 蘇州區
 2-2 揚子江(含泥量 57.1%) 4-4 永定河(三家店水試中) 6-6 揚子江(蘇州區)

第九圖

度之表示法，可簡略如下式：

$$S = S' (50\%) \times \delta \quad (59)$$

第九圖示西 各河泥沙之沙氏數配度曲線；第九表示應用上列三法，求得之平均數 S 、標準差 δ ，中平差數 ϵ 。

(十) 複式命名

(一) 外度係數

按第(58)式，標準差 $\sigma = \sqrt{S_{(84.1\%)} + S_{(15.9\%)}}$

$$\delta^2 = \frac{S_{(84.1\%)}}{S_{(15.9\%)}} \quad (60)$$

故標準差之平方，即為與 84.1% 相應之沙氏數與 15.9% 處沙氏數相比之倍數。設某種泥沙，其中最粗顆粒與最細者相差愈鉅，則其外雜之程度愈大，故可逕以 δ^2 值作為外度之係數，設「外度係數」為 M ，則

$$M = \sigma^2 \quad (61)$$

按泥沙之最大標準沙氏數為 100 (大砂)，最細者為 0.000001 (微埴)，二者之倍數 $M = 100,000,000 = 10^8$ 。今設以外度係數，每大 10 倍為一級，約可分為 8 級如右表：

(二) 複式命名

第八節所列泥沙分類命名標準，係指某一種顆粒而言，對於各種不同顆粒之命名法，曰「複式命名」。我國文字習慣，對於

等級	外度係數 M
1	0 — 10
2	10 — 10 ²
3	10 ² — 10 ³
4	10 ³ — 10 ⁴
5	10 ⁴ — 10 ⁵
6	10 ⁵ — 10 ⁶
7	10 ⁶ — 10 ⁷
8	10 ⁷ — 10 ⁸

複式名稱，常以第一字為主要部份，第二字示次要部份。譬如我國河工，對於沙之含有土性或膠質者，有「沙土」「沙膠」之稱。

沙土（河工要義）沙土者，沙之猶含土性者也。

沙膠（河工要義）沙膠者，素土之含有膠質者也，無論含膠多寡，皆曰「沙膠」。

美國公路局（U.S. Bureau of Public Roads）採用A.C. Rose之建議，對於土壤複式命名標準，以土壤內所含沙（sand）（ $d = 0.5 \sim 0.05 \text{ mm}$, $S_0 = 2.5 \sim 0.06$ ），泥（silt）（ $d = 0.05 \sim 0.005 \text{ mm}$, $S_0 = 0.06 \sim 0.0006$ ），埴（clay）（ $d < 0.005 \text{ mm}$, $S_0 < 0.0006$ ）三者之百分率而定，如下表：（註26）

類 名	沙 %	泥 %	埴 %
沙 (Sand)	80—100	0—20	0—20
沙埴 (Sandy loam)	50—80	0—50	0—20
埴 (Loam)	30—50	30—50	0—20
泥埴 (Silty loam)	0—50	50—100	0—20
沙埴埴 (Sandy clay loam)	50—80	0—30	20—30
埴埴 (Clay loam)	20—50	20—50	20—30
泥埴埴 (Silty clay loam)	0—30	50—80	20—30
沙埴 (Sandy clay)	55—70	0—15	30—45
埴 (Clay)	0—55	0—55	30—100
泥埴 (Silty clay)	0—15	55—70	30—45

此種方法，對於農業土木，殊為適用，以其便於農工人員習慣上之瞭解，惟於水利工作者，尚感煩雜，難於辨別，且不能根據名稱，推想顆粒分配之情形。茲擬定一簡捷方法如次。

複式名稱 = S(84%)名稱 + S(16%)名稱

例如某項泥沙之 $S(84\%) = 0.0150$ （名細壤）， $S(16\%) = 0.002$ （名中泥），則其複式名稱為「細壤中泥」。

倘複式名稱中，兩名詞同一類者，如「粗壤、細壤」，則可簡稱「粗細壤」。「粗壤、粗壤」，簡稱為「粗壤」。

根據複式名稱，即可決定沙氏數配度曲線之大概位置。

按上項泥沙之標準差 $\sigma = \frac{0.015}{0.002} = 7.5$ ，故其外度係數 $M = \sigma^2 = 56$ 。

下表示西北各河泥沙之完全命名。

地 點	S (84%)	S (16%)	σ	名 稱	M
涇河 (C = 2.58%)	0.0052	0.0026	4.5	粗微泥	20.2
涇河 (C = 57.1%)	0.0058	0.0048	3.54	粗細泥	12.5
永定河雙營河底	0.210	0.060	1.87	粗中壤	3.5
永定河三家店河底	0.238	0.032	2.73	粗中壤	7.4
渭惠渠(32 km)渠底	2.35	0.88	1.63	中細沙	2.7
渭惠渠(0 km)渠底	7.25	3.10	1.53	粗 沙	2.3

(十一) 結 論

茲將本文要點，概述如下：

(一) 泥沙之分類命名，以粒徑為準者，最為普遍，以其觀念明瞭，易於推行。較近水工學術進步，無論定量性，均力求精確完備，此種命名方法，漸感不適，其主要原因有三：

1. 由顯微鏡觀察，或用篩析法所測之粒徑，僅能表示顆粒大小，對於沙粒之么重，形狀，表面性質等要素，未能包括在內。

2. 根據泥沙顆粒，在清水中之沉速，間接求得之「相當粒徑」，或稱「沉澱粒徑」(Sedimentation diameter,)，對於泥沙顆粒之性質，確能包括較廣泛之意義；惟此種相當粒徑，在小於 0.625 mm 者，可用司篤克氏定律轉算而得；大於此值者，尚乏準確公式，可資應用。

3. 流水挾運泥沙，由於前進時之向上分速，適能與泥沙向下之沉速，互呈平衡。故挾運沙量之多寡，對於泥沙之沉速有直接關係，而與粒徑僅屬間接關係。吾人研究沖積問題，雖已知泥沙之「相當粒徑」，仍須推算其沉速，能引入公式之內；故「相當粒徑」，在實用上之價值，殊不顯著。

(二) 根據泥沙在規定溫度清水內之沉速，作分類命名之標準，較用「相當粒徑」，具有更直接明瞭之意義，且可逕行引入沖積公式之內，是其利點；惟按雷氏相似定律，僅沉速相等，尚不能滿足相似定律之條件；易言之，在同一沉速之泥沙，其在水中運動之性質未必能完全相似。

(三) 本文根據物體在靜止液體中運動原理，發見阻力係數 ψ ，為沙氏數 S 之函數。沙氏數係一無因次之純數，如下式：

$$S = \frac{v}{\gamma^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta}{\gamma} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

式中： v = 物體之速率 (cm/sec)

γ = 液體之動滯性率 (cm²/sec)

g = 重力加速率 (cm/sec²)

δ = 物體之么重 (Er./cm²)

γ = 液體之么重 (Er./cm²)

(四) 沙粒在溫度 10°C. 靜止清水中，下沉運動之沙氏數，曰「標準沙氏數」 S_0 ，本文建議以標準沙氏數 S_0 為分類命名之標準。

(五) 沙氏數為雷氏數 R 之函數，以之作泥沙分類命名之標準，可符合雷氏相似定律。

(六) 沙氏數 $S < 0.1$ ，物體在液體中運動，屬滯流區，適合司篤克定律。沙數 $S = 0.1 \sim 10$ ，屬介流區；沙氏數 $S > 10$ ，屬激流區，適用牛頓定律。

(七) 物體在液體中浮沉運動之模型試驗，應按照沙氏數相似定律設計之，即

$$S_1 = S_2$$

$$\text{或} \quad \frac{v_1}{\gamma_1^{\frac{1}{2}} g_1^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_1}{\gamma_1} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{v_2}{\gamma_2^{\frac{1}{2}} g_2^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\delta_2}{\gamma_2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

其他各項要素之比率，均可藉以推求得之。

(八) 根據標準沙氏數 S_s ，作泥沙分類命名之標準，建議如下表；並將英譯名辭，附註於后。

		標準沙氏數 S_s 。	
第一類	石礫類	頑石 (Boulders)	< 300
		蠻石 (Blocks)	100—300
		大籽 (Large Pebble)	60—100
		小籽 (Small Pebble)	30—60
		粗礫 (Coarse Gravel)	20—30
		細礫 (Fine Gravel)	10—20
第二類	素土類	粗沙 (Coarse Sand)	3—10
		中沙 (Medium Sand)	1—3
		細沙 (Fine Sand)	0.3—1.0
		粗壤 (Coarse Mo)	0.1—0.3
		中壤 (Medium Mo)	0.03—0.1
		細壤 (Fine Mo)	0.01—0.03
第三類	膠土類	粗泥 (Coarse Silt)	0.003—0.01
		中泥 (Medium Silt)	0.001—0.003
		細泥 (Fine Silt)	0.0003—0.001
		微泥 (Very Fine Silt)	0.0001—0.0003
		粗埴 (Coarse Clay)	0.00003—0.0001
		中埴 (Medium Clay)	0.00001—0.00003
		細埴 (Fine Clay)	0.000003—0.00001
		微埴 (Very Fine Clay)	0.000001—0.000003
第四類	膠質類	膠質 (Colloid)	< 0.000001

(九) 泥沙顆粒分配之程度，可按照次數分配原理，以沙氏數之幾何平均數 S_g ，標準差 δ ，中平差數 ω 三值，表示之。

沙氏數配度曲綫之表示法，為 $S = S_g \cdot (50 + \varepsilon \%) \times \sigma$

(十) 根據沙氏數配度曲綫之表示法，並可作泥沙分類之複式命名之標準，如下式：

名稱 = $S \cdot 84\%$ 名稱 + $S \cdot 16\%$ 名稱。

(十一) 合理之挾沙量公式，應以上述之沙氏數配度曲綫之變量 (S , σ , ε) 為函數，即以沙氏數之幾何平均數 S_g ，幾何標準差 δ ，中平差數 ω 三者為函數。

附 註

註 1. Redlich-Terzaghi-KamDe: Ingenieurgeologie, S. 348, 1929.

註 2. 王喬年著：河工要義

註 3. Schuchl, F.: Bericht über die Sitzung der Internationalen Kommission für mechanische und Physikalische Bodenanalyse, International Mitt. Bodenkd., 4, 30 (1914) -- Vgl ferner A. Atterberg: Über die Klassifikation der Bodenkörner, Kalmar 1910, --- J

- KoPecky: Ein Beitrag zur Frage der neueren Einteilung der Kornungsprodukte bei der mechanischen Analyse. Internat. Mitt. Bodenkd. 4, 199 (1914) -- G. Colley: A study of the soils of the United States. U. S. Dept. of Agr., Bur. of Soils, Bull. 85 (1913).
- 註 4. Gilbert G. K.: The transportation of debris by running water. Professional paper 86, U. S. Geological Survey, 1914.
- 註 5. A. Schoklitsch: Der Geschiebetrieb und die Geschiebefracht. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 16, Februar 1934,
- 註 6. E. Meyer-Peter, H. Favre, und A. Einstein: "Neure Versuchsergebnisse über den Geschiebetrieb," Schweizerische Bauzeitung, Nr. 103, 1934, Professional Paper 86.
- 註 7. A. Casagrande: Die Aräometermethode zur Bestimmung der Kornverteilung von Boden und anderen Materialien, s. 10 u. 40, Julius Springer, Berlin 1934.
- 註 8. E. Blanck: Handbuch der Bodenlehre, Band V, s. 43.
- 註 9. 華北水利委員會: 永定河治本計劃(民國二十二年)
- 註 10. 國立西北農學院水利系實測
- 註 11. Scheidig: Der Loss und seine geotechnischen Eigenschaften, Dresden Steinkopff 1934.
- 註 12. Krumbien, W. C., "Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits," Journal Geol. vol. 47, 1939, P. 673-706.
- 註 13. Mem. presentes par divers savants, S. 532, Paris 1846.
- 註 14. 李翰如著: 黃水滯率之初步測定。西水聲第六卷第四期
- 註 15. Philosophiae naturalis Principia, London 1687, lib. 2, sectio 7, prop. 32, theor. 26.
- 註 16. Stokes, G.: Trans. Cambridge Phil. Soc., Vol. 8, 1845 and Vol. 9, 1851; or Collected Papers, Vol. 1, P. 75.
- 註 17. Bellasis, E. S.: River and canal engineering. P. 42 3rd ed. 1930.
- 註 18. RubeY, W. W.: "Mechanical analysis in connection with lithologic studies of sedimentary rocks of the Black Hills region" U. S. Geological Survey Professional Paper 165, 1930.
- 註 19. Gibson, A. H.: Hydraulics and its Applications. 3rd. Edition, P. 341.
- 註 20. Lane, E. W.: Engineering Aspects of Sediment Transportation and Deposition. State University of Iowa, Oct. 1939.
- 註 21. Allen Hazen: Some Physical properties of sands and gravels. 24th Ann. Report Mass. State Board of Health, 1893.
- 註 22. Schoklitsch: Geschiebepbewegung in Flüssen und in Stauwerke, s. 3 wien 1926.
- 註 23. Kramer: Modellgeschiebe und Schleppkraft. Der schsischen Technischen Hochschule zu Dresden eingereichte Dissertation, Berlin 1932.
- 註 24. Allen Hazen: Flood flows. New York 1930.
- 註 25. Hans Grassberger: Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf Hochwasserfragen. Deutsche Wasserwirtschaft 1936, s. 200.
- 註 26. H. Jentogler: Engineering properties of soils.

土壤基本物理性質之關係

蔣 彭 年⁽¹⁾

(一) 引 言

土壤為最古最複雜之工程材料。自有史以來，人類即穴居其中，或築舍其上，或堆土為室，而能詳知其性能者蓋少。然各項主要工程材料，如木、磚、鋼鐵、混凝土等，其成份與性質，皆經長期精確之研究與試驗，設計者依據研究試驗所得，衡其性能，定其尺度，而致之實用，庶達工程上安全與經濟之目的。土壤在工程上之重要，實不亞於前述各項材料，或猶過之。觀乎一切建築物，皆為土壤所承載，如其性質未加研究，則不論建築物如何堅固，工程之安全否，實詳把握。例如堤壩之滲水，公路路面之破裂，橋墩之沉陷，居屋之傾斜，邊坡之塌場等，均因吾人未明土壤之性質及其行為，預為防範故也。本文之目的即在將土壤基本物理性質之意義及其相互之關係，加以詳密之說明與分析，藉供工程界之參考。至於土壤之顆粒大小及分配，稠性限度，透水性，固結性，堅實性及抗剪強度等之關係，並未論及。

(二) 土壤基本物理性質之意義

本文所指土壤基本物理性係數凡九，即：孔隙比，孔隙率，絕對孔隙率，空間比，容重，比重，含水量，相對濕度及水中有效容重。茲將諸係數之意義，分述如後：

(一) 孔隙率，孔隙比，絕對孔隙率及空間比。一理想土壤為許多固體土粒及充滿液體之孔隙所組成，其孔隙中之液體為水及空氣。若孔隙為水所充滿，則土壤在完全潮濕狀態，反之，若為空氣所充滿，則土壤為完全乾燥狀態。若為兩者兼佔，則在半乾燥狀態。

第一圖示理想土壤之成份剖面。若令V及W分別代表土壤之總體積及總重量， V_s 、 V_w 、 V_a 及 V_v 各為土粒，水，空氣及孔隙之體積，而 W_s 及 W_w 各為土粒及水之重量，如第一圖所示。通常空氣之重量甚小，可略而不計。



第一圖 理想土壤

土壤之孔隙率乃其孔隙體積佔其總體積之百分數。若令n代表孔隙率則：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad \dots \quad (1)$$

n通常以百分率計之。

土壤之孔隙比為其孔隙體積與固體土粒之比值，常以e代表之，則

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \dots \quad (2)$$

土壤之絕對孔隙率為其中空氣之體積佔其總體積之百分數，常以 n' 代表之，則

$$n' = \frac{V_a}{V} \times 100 \quad \dots \quad (3)$$

土壤之空間比為其空氣體積與孔隙體積之比，若令 R_a 代表土壤之空間比，則：

$$R_a = \frac{V_a}{V_v} \dots \dots \dots (3a)$$

此等數值，用以判斷土壤顆粒排列之緊密程度，約估土壤之透水量，固結性及堤壩或磯之功效等。

(二)容重及比重 土壤之容重及其單位體積之重量也。如以土壤全部體積而言，則名之曰視容重；而以其顆粒之淨體積言之，則名之曰真容重。茲令 γ 及 γ_s 分別代表視容重及真容重，則

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (4)$$

及

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots \dots \dots (5)$$

若土壤在全乾狀態，此時之視容重名曰乾容重 (γ_e)，即

$$\gamma_e = \frac{W_s}{V} \dots \dots \dots (6)$$

其在全濕狀態者，名曰濕容重，或飽和含水量重 (γ_e')，即

$$\gamma_e' = \frac{W_s + W_w}{V} \dots \dots \dots (7)$$

土壤已知體積之重量與其同體積 4°C 蒸餾水重量之比，名曰土壤比重。若以土壤全部體積而言，名曰假比重；若以其顆粒之淨體積而言，名曰真比重。茲以 G 及 G_s 分別代表假比重及真比重，則

$$G = \frac{\gamma}{\gamma_w} \dots \dots \dots (8)$$

及

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (9)$$

式中 γ_w = 水之容重。

在公制中一立方公分 (c.c.) 之水重為一克，即 $\gamma_w = 1$ ，

故：
$$G = \gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (10)$$

及

$$G_s = \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots \dots \dots (11)$$

此等數值應用於邊坡穩定性分析，填土牆之設計，堤壩設計及其施工之控制等。試驗室中常藉比重以測定土壤之顆粒大小及分配，孔隙量，塑性限度，壓縮性等。

(三)含水量及相對濕度 土壤內所含水分之重量佔乾土重之百分數，名曰土之含水量。常以 w 代表之，則

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (12)$$

亦有以所含水分佔總土重或佔土壤總體積以代表土之含水量，但不常用之。若令 w' 及 w'' 分別代表以總土重及以總體積計之含水量，則

$$w' = \frac{W_w}{W} \times 100 \dots \dots \dots (12a)$$

及

$$w'' = \frac{W_w}{V} \times 100 \dots \dots \dots (12b)$$

三者之關係如下式：一

$$w = \frac{w'}{1 - \frac{w'}{100}} \dots\dots\dots (13)$$

$$w'' = w' \dots\dots\dots (14)$$

土壤內所含水分之體積佔其孔隙總體積之百分數，名曰土之相對濕度。今以S代表之，則

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

此等數值為研究土壤壓縮性，抗剪強度及堅實性等之副值。

(四)土壤在水中之有效容重 土以在水中每單位體積之重量，名曰土之有效容重。以土粒而言，土壤之有效真容重(γ_e)s應為：

$$(\gamma_e) = \gamma_s - \gamma_w = \gamma_w (G_s - 1) \dots\dots\dots (16)$$

以土壤全體而言，其有效視容重 γ_e' 應為：

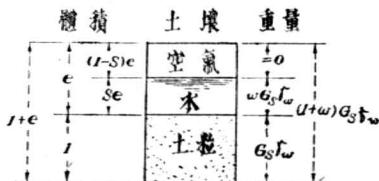
$$\gamma_e' = \gamma' - \gamma_w = \gamma_w (6 - 1) \dots\dots\dots (17)$$

第(17)式對於管湧及流沙，堤壩透水和後穩定性分析等，甚為重要。

(三)物理性係數之關係

設各物理性係數均以小數計，則其相互關係，按半乾燥，全乾及全濕三種情況，分別予以研究，得下列各式：

(一)孔隙率與孔隙比之關係 若s, w, n及n' 均以小數計，且令土粒之體積為1，則孔隙之體積應為e 而水之體積為Se，空氣之體積為(1-S)e，及土壤之總面積為1+e，如第二圖所示。自(6)及(9)兩式，知土粒之重為Gs γ_w ，而自(12)式，知水重為wGs γ_w 若空氣之重量略而不計，則土壤之總重量應為(1+w)Gs γ_w 自(1)式，得



第二圖 理想土壤

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots (18)$$

或
$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots (19)$$

上兩式不論任何情況，均可適用。

(二)土壤在半乾燥狀態時各物理性係數之關係 土壤在半乾燥狀態時，其含水量為w，相對濕度為S，及絕對孔隙量為n'，則w $\max > w > 0$ ， $1 > S > 0$ ，及 $n' > n > 0$ 。自(3)式及第二圖，得：

$$n' = \frac{(1-S)e}{1+e} = (1-S)n \dots\dots\dots (20)$$

或
$$S = 1 - \frac{n'}{n} \dots\dots\dots (21)$$

又
$$R_a = 1 - S \dots\dots\dots (21a)$$

因水之體積×水之容重=水之重量，即Se $\gamma_w = wGs\gamma_w$ ，

故
$$w = \frac{Se}{Gs} \dots\dots\dots (22)$$

自(4)式，得
$$\gamma = \frac{(1+w)Gs\gamma_w}{1+e} = \frac{(Gs+Se)\gamma_w}{1+e} \dots\dots\dots (23)$$

自(8)式,得 $G = G_s \frac{1+w}{1+e}$ (24)

(三)土壤在全乾狀態時之物理性係數之關係 土壤在全乾時, $w=0, S=0$ 及 $n'=n$ 故自(23)及(24)兩式,各得

$$\gamma_e = \gamma = \frac{\gamma_w G_s}{1+e}$$
 (25)

及 $G = G_s \frac{1}{1+e}$ (26)

(四)土壤在全濕狀態時之物理性係數之關係 土壤在全濕時, $w=w_{max}$ = 飽和含水量, $S=1, n'=0$ 。自(22)式,得

$$w_{max} = \frac{e}{G_s}$$
 (27)

自(23)式得: $\gamma_{e'} = \frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$ (28)

將上式代入(17)式,得 $\gamma_{e''} = \gamma_w \frac{G_s-1}{1+e}$ (29)

(五)各狀態時物理性係數之關係 若土壤內含水量 w 時之相對濕度為 s 則將此土壤孔隙內完全充滿水分,所需之飽和含水量應為 w_{max} ,由(22)及(27)兩式,可得三者之關係如下式:

$$w_{max} = \frac{w}{S}$$
 (30)

設土壤體積不變,即其孔隙體積不變,當土壤含水量 w 時之視容重為 γ ,則自(23)及(25)兩式,其相應之乾容重應為

$$\gamma_e = \frac{\gamma}{1+w}$$
 (31)

上式應用於堅實試驗之計算,此項試驗對於土壤施工之控制,甚為重要。

若土壤體積不變 $w=0$ 時,其乾容重為 γ_e ,而 $w=w_{max}$ 時,其濕容重為 $\gamma_{e'}$ 。則自(25), (27)及(28)三式,可得

$$\frac{\gamma_e}{\gamma_{e'}} = \frac{1+w}{1+w_{max}}$$
 (32)

(四) 結 論

茲將土壤在半乾濕狀態時之物理性係數之關係,列為第一表,並將全乾或全濕狀態時之物理性係數之關係及此兩者間之係數之關係,列為第二表,俾便應用。

(五) 附 錄

(一) 譯 名 對 照

稠性限度 (Limits of Consistency)	容重 (unit weight or specific weight)
透水性 (Permeability)	比重 (specific gravity)
固結 (Consolidation)	含水量 (Water content or moisture content)
實堅 (Compaction)	相對濕度 (Relative Humidity or Degree of Saturation)

抗剪強度 (Shearing Strength)

有效容重 (Effective unit weight)

孔隙比 (Void Ratio)

管湧 (Piping)

孔隙率 (Porosity)

流沙 (Quick sand)

絕對孔隙率 (Absolute Porosity)

(二) 參 攷 文 獻

1. Soil Mechanics ,P.21-29,by Krynine, 1941
2. Soil Mechanics Nomenclatuare,by the Commette of the Soil Mechanics and Foundations Division,A.S.C.E.1941.

第一表 半乾濕土壤

已 知	求		
	G_s	G	w
G_s, G, w	—	—	—
G_s, G, S	—	—	$\frac{S}{G_s} \cdot \frac{G_s - G}{G - S}$
G_s, G, n'	—	—	$\frac{1 - (1 - n') \frac{G_s}{G}}{(1 - n') \frac{G_s}{G} - G_s}$
G_s, G, n	—	—	$\frac{1}{1 - n} \cdot \frac{G}{G_s} - 1$
G_s, G, e	—	—	$\frac{G}{G_s}(1 + e) - 1$
G_s, w, S	—	$\frac{1 + w}{1 + \frac{wG_s}{S}} G_s$	—
G_s, w, n'	—	$\frac{(1 + w)(1 - n')}{1 + wG_s} G_s$	—
G_s, w, n	—	$(1 - n)(1 + w)G_s$	—
G_s, w, e	—	$\frac{1 + w}{1 + e} G_s$	—
G_s, S, n'	—	$\frac{G_s(1 - S \cdot n') + n'S}{1 - S_s}$	$\frac{S}{G_s} \frac{n'}{1 - S \cdot n'}$
G_s, S, n	—	$(1 - n)G_s + nS$	$\frac{S}{G_s} \frac{n}{1 - n}$
G_s, S, e	—	$\frac{G_s + Se}{1 + e}$	$S \frac{e}{G_s}$
G_s, n', n	—	$G_s(1 - n) + (n - n')$	$\frac{n - n'}{G_s(1 - n)}$
G_s, n', e	—	$\frac{G_s + e}{1 + e} - n'$	$\frac{e - n'(1 + e)}{G_s}$

物理性係數之換求表

s	n'	n	l
$\frac{wG}{1+w} - \frac{G}{G_s}$	$1 - \frac{G}{G_s} \frac{1+wG_s}{1+w}$	$1 - \frac{G}{G_s} \frac{l}{1+w}$	$(1+w) \frac{G_s}{G} - 1$
—	$(1-S) \frac{G_s - G}{G_s - S}$	$\frac{G_s - G}{G_s - S}$	$\frac{G_s - G}{G - S}$
$\frac{G_s(1-n') - G}{G_s - G - n'}$	—	$\frac{G_s - G - n'}{G_s - 1}$	$\frac{G_s - G - n'}{G + n' - 1}$
$\frac{(n-1)G_s + G}{n}$	$n - G - (n-1)G_s$	—	$\frac{n}{1-n}$
$\frac{G(1+e) - G_s}{e}$	$\frac{e + G_s}{1+e} - G$	$\frac{e}{1+e}$	—
—	$(1-S) \frac{wG_s}{S + wG_s}$	$\frac{wG_s}{S + wG_s}$	$\frac{wG_s}{S}$
$\frac{wG_s(1-n')}{n' + wG_s}$	—	$\frac{n' + wG_s}{1 + wG_s}$	$\frac{n' + wG_s}{1 - n'}$
$\frac{wG_s(1-n)}{n}$	$n - wG_s(1-n)$	—	$\frac{n}{1-n}$
$\frac{wG_s}{e}$	$(1 - \frac{w}{e} G_s) \frac{e}{1+e}$	$\frac{e}{1+e}$	—
—	—	$\frac{n'}{1-s}$	$\frac{n'}{1-S-n'}$
—	$(1-S)n$	—	$\frac{n}{1-n}$
—	$(1-S) \frac{e}{1+e}$	$\frac{e}{1+e}$	—
$1 - \frac{n'}{n}$	—	—	$\frac{n}{1-n}$
$1 - \frac{n'(1+e)}{e}$	—	$\frac{e}{1+e}$	—

第一表(續) 半 乾 濕 土

已 知	求		
	Gs	G、	w
G, w, s	$\frac{G}{1+w-\frac{w}{s}G}$	—	—
G, w, n'	$\frac{G}{(1-w)(1-n')-wG}$	—	—
G, w, n	$\frac{G}{(1-n)(1+w)}$	—	—
G, w, e	$\frac{1+e}{1+w}G$	—	—
G, S, n'	$\frac{G(1-s)-n's}{1-s-n'}$	—	$\frac{Sn'}{(1-S)G-Sn'}$
G, s, n	$\frac{G-nS}{1-n}$	—	$\frac{ns}{G-ns}$
G, s, e	$G(1+e)-Se$	—	$\frac{Se}{G(1+e)-Se}$
G, n', n	$\frac{G+n'-n}{1-n}$	—	$\frac{n-n'}{G+n'-n}$
G, n', e	$(n'+G)(1+e)-e$	—	$\frac{e-n'(1+e)}{(n'+G)(1+e)-e}$
w, s, n'	$\frac{s}{w} \frac{n'}{1-s-n'}$	$\frac{1+w}{1-S} \frac{Sn'}{w}$	—
w, s, n	$\frac{s}{w} \frac{n}{1-n}$	$(1+\frac{1}{w})Sn$	—
w, s, e	$\frac{se}{w}$	$\frac{S}{w} \frac{1+w}{1+e}$	—
w, n', n	$\frac{n-n'}{w(1-n)}$	$(n-n')(1+\frac{1}{w})$	—
w, n', e	$\frac{e-n'(1+e)}{w}$	$\frac{1+w}{w} (e-n')$	—

壤物理性係數之換求表

s	n'	n	e
—	$\frac{1-s}{1-w} \frac{wG}{s}$	$\frac{wG}{(1+w)S}$	$\frac{wG}{(1+w)S-wG}$
$\frac{wG}{n'(1+w)+wG}$	—	$n' + \frac{w}{1+w} G$	$\frac{n' + \frac{w}{1+w} G}{(1-n') - \frac{w}{1+w} G}$
$\frac{wG}{(1+w)n}$	$n - \frac{w}{1+w} G$	—	$\frac{n}{1-n}$
$\frac{w}{e} \frac{1+e}{1+w} G$	$\frac{e}{1+e} - \frac{wG}{1+w}$	$\frac{e}{1+e}$	—
—	—	$\frac{n'}{1-s}$	$\frac{n'}{1-S-n'}$
—	$(1-S)n$	—	$\frac{n}{1-n}$
—	$(1-S) \frac{e}{1+e}$	$\frac{e}{1+e}$	—
$1 - \frac{n'}{n}$	—	—	$\frac{n}{1-n}$
$1 - \frac{n'(1+e)}{e}$	—	$\frac{e}{1+e}$	—
—	—	$\frac{n'}{1-s}$	$\frac{n'}{1-S-n'}$
—	$(1-S)n$	—	$\frac{n}{1-n}$
—	$(1-S) \frac{e}{1+e}$	$\frac{e}{1+e}$	—
$1 - \frac{n'}{n}$	—	—	$\frac{n}{1-n}$
$1 - n' \left(1 + \frac{1}{e} \right)$	—	$\frac{e}{1+e}$	—

第二表 全乾式全濕

已 知	G_s	γ_e	$0e$
G_s, γ_e	—	—	$\gamma_e - \frac{\gamma_e}{G_s} + \gamma_w$
G_s, γ_e'	—	$\frac{\gamma_e' - \gamma_w}{1 - \frac{1}{G_s}}$	—
G_s, γ_e''	—	$\frac{\gamma_e''}{1 - \frac{1}{G_s}}$	$\gamma_e'' + \gamma_w$
G_s, w_{max}	—	$\frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + w_{max}}$	$\frac{G_s \gamma_w (1 + w_{max})}{1 + G_s w_{max}}$
G_s, n	—	$G_s \gamma_w (1 - n)$	$[(1 - n) G_s + n] \gamma_w$
G_s, e	—	$\frac{G_s \gamma_w}{1 + \gamma}$	$\frac{G_s + e}{1 + e} \cdot \gamma_w$
γ_e, γ_e'	$\frac{\gamma_e}{\gamma_e + \gamma_w - \gamma_e'}$	—	—
γ_e, γ_e''	$\frac{\gamma_e}{\gamma_e - \gamma_e''}$	—	$\gamma_e'' + \gamma_w$
γ_e, w_{max}	$\frac{\gamma_e}{\gamma_w - \gamma_e \cdot w_{max}}$	—	$\gamma_e (1 + w_{max})$
γ_e, n	$\frac{\gamma_e}{\gamma_w (1 - n)}$	—	$\gamma_e + \gamma_w n$
γ_e, e	$\frac{\gamma_e (1 + e)}{\gamma_w}$	—	$\gamma_e + \gamma_w \frac{e}{1 + e}$
w_{max}, γ_e'	$\frac{\gamma_e'}{\gamma_w + (\gamma_w - \gamma_e') w_{max}}$	$\frac{\gamma_e'}{1 + w_{max}}$	—
w_{max}, γ_e''	$\frac{\gamma_w + \gamma_e''}{\gamma_w - \gamma_e'' w_{max}}$	$\frac{\gamma_e'' + \gamma_w}{1 + w_{max}}$	$\gamma_e'' + \gamma_w$
w_{max}, n	$\frac{n}{1 - n} \cdot \frac{1}{w_{max}}$	$\gamma_w' \frac{n}{w_{max}}$	$\gamma_w n \frac{1 + w_{max}}{w_{max}}$
w_{max}, e	$\frac{e}{w_{max}}$	$\gamma_w' \frac{e}{w_{max} (1 + e)}$	$\gamma_w \frac{e}{w_{max}} \cdot \frac{1 + w_{max}}{1 + e}$
γ_e', n	$\frac{\gamma_e' - n \gamma_w}{(1 - n) \gamma_w}$	$\gamma_e' - \gamma_w n$	—
γ_e', e	$\frac{\gamma_e'}{\gamma_w} (1 + e) - e$	$\gamma_e' - \gamma_w \frac{e}{1 + e}$	—
γ_e'', n	$\frac{\gamma_e''}{\gamma_w (1 - n)} + 1$	$\gamma_e'' + \gamma_w (1 - n)$	$\gamma_e'' + \gamma_w$
γ_e'', e	$\frac{\gamma_e''}{\gamma_w} (1 + e) + 1$	$\gamma_e'' + \gamma_w \frac{1}{1 + e}$	$\gamma_e'' + \gamma_w$

土壤物理性常數之換求表

γ_e''	w_{max}	n	e
$\gamma_e \left(1 - \frac{1}{G_s}\right) -$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e}{G_s \gamma_e}$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e}{G_s \gamma_w}$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e}{\gamma_e}$
$\gamma_e' - \gamma_w$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e'}{G_s (\gamma_e' - \gamma_w)}$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e'}{G_s \gamma_w - \gamma_w}$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_e}{\gamma_e' - \gamma_a}$
—	$\frac{\gamma_w}{\gamma_w''} \left(1 - \frac{1}{G_s}\right) - \frac{1}{G_s}$	$1 - \frac{\gamma_e''}{\gamma_w} \frac{1}{G_s - 1}$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_e''} (G_s - 1) - 1$
$\gamma_w \frac{G_s - 1}{1 \times G_s w_{max}}$	—	$\frac{1}{1 + \frac{1}{G_s w_{max}}}$	$G_s' w_{max}$
$\gamma_w (G_s - 1)(1 - n)$	$\frac{1}{G_s} \frac{n}{1 - n}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_w \frac{G_s - 1}{1 + e}$	$\frac{e}{G_s}$	$\frac{e}{1 + e}$	—
$\gamma_e' - \gamma_w$	$\frac{\gamma_e' - 1}{\gamma_e}$	$\frac{\gamma_e' - \gamma_e}{\gamma_w}$	$\frac{\gamma_e' - \gamma_e}{\gamma_w - \gamma_e + \gamma_e}$
—	$\frac{\gamma_e'' + \gamma_w - 1}{\gamma_e}$	$1 - \frac{\gamma_e - \gamma_e''}{\gamma_w}$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_e - \gamma_e''} - 1$
$\gamma_e (1 + w_{max}) - \gamma_w$	—	$\frac{\gamma_e}{\gamma_w} w_{max}$	$\frac{\gamma_e' w_{max}}{\gamma_w - \gamma_e \gamma w_{max}}$
$\gamma_e - \gamma_w (1 - n)$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_e} \cdot n$	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_e - \gamma_w \frac{1}{1 + e}$	$\frac{\gamma_w}{\gamma_e} \frac{e w}{1 + e}$	$\frac{e}{1 + e}$	—
$\gamma_e' - \gamma_w$	—	$\frac{\gamma_e' w_{max}}{\gamma_w (1 + w_{max})}$	$\gamma_w \left(1 + \frac{1}{w_{max}}\right) - \gamma_e'$
—	—	$\frac{\gamma_e'' + \gamma_w}{1 + w_{max}} \frac{w_{max}}{\gamma_w}$	$\frac{\gamma_e'' + \gamma_w}{\gamma_w - \gamma_e'' w_{max}}$
$\gamma_w \left[\frac{n}{w_{max}} (1 - n) \right]$	—	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_w \frac{e}{w_{max}} - 1$	—	$\frac{e}{1 + e}$	—
$\gamma_e' - \gamma_w$	$\frac{n \gamma_w}{\gamma_e' - n \gamma_w}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
$\gamma_e' - \gamma_w$	$\frac{1}{\gamma_e'} \left(1 + \frac{1}{e}\right) - 1$	$\frac{e}{1 + e}$	—
—	$\frac{n \gamma_w}{(1 - n) \gamma_w + \gamma_e''}$	—	$\frac{n}{1 - n}$
—	$\frac{e \gamma_w}{\gamma_e'' (1 + e) + \gamma_w}$	$\frac{e}{1 + e}$	—

水 利 新 聞

水 利 部 改 組 完 成

水利部自本年六月一日由水利委員會改組成立後，其組織法經於七月十八日由國府公布，乃於九月一日正式按編制分司科辦事，茲將部內各部份主管採錄如次：

	部 長	薛 篤 弼			
	政務次長	沈 百 先	常務次長	馬 兆 驥	
技 術 聽	技 監	須 禮			
參 事 聽	首席參事	韓 壽 晉			
祕 書 聽	主任祕書	周 仰 文			
水 政 司	司 長	蔡 邦 霖	幫 辦	李 漢 恩	
	一科科長	鍾 純 青	二科科長	曹 恩 琪	
	三科科長	沈 元 良	資 料 室	吳 南 凱	
防 洪 司	司 長	吳 又 新	幫 辦 兼 一科科長	李 守 鎮	
	二科科長	張 漢			
渠 港 司	司 長	楊 乃 俊	幫 辦	閻 振 興	
	一科科長	姚 鴻 儒	二科科長	張 連 斌	張 培 公 代
水 文 司	司 長	蔡 振	幫 辦	劉 宅 仁	
	一科科長	陳 道 弘	二科科長	張 俊 生	
總 務 司	司 長	段 爽 青			
	一科科長	陳 和 新	二科科長	趙 振 錡	
	三科科長	謝 鴻 聲			

各 流 域 水 利 機 構 改 組 成 立

水利部所屬揚子江、黃河、導淮、華北諸水利委員會，已奉命先後改組，並改稱爲水利工程總局，並另成立東北水利工程總局及改珠江水利局爲總局。茲將各總局之地址及正副局長姓名表列如下：

長江水利工程總局	南 京	孫 輔 世	朱 士 俊
黃河水利工程總局	開 封	陳 泮 嶺	潘 鎰 芬
淮河水利工程總局	南 京	林 平 一	雷 鴻 基
珠江水利工程總局	廣 州	楊 華 日	李 文 邦
華北水利工程總局	天 津	王 華 榮	高 鏡 登
東北水利工程總局	瀋 陽	董 文 琦	

洛惠渠及滂惠渠放水

陝西洛惠渠灌溉工程，自去年歲杪第五號隧洞全部鑿通後，隨即整修幹渠、渡槽、跌水等項建築，茲已大體竣事，於本年九月九日試行放水，情形良好，現洛惠渠工程處擬於雙十節舉行放水典禮。

計劃灌田十二萬畝之陝西滂惠渠，主要工程業經完成，已於九月二十七日舉行放水典禮。

鴛鴦池蓄水庫落成

甘肅省肅豐渠鴛鴦池蓄水庫工程，自三十二年六月興工，迄於本年五月工竣，並於七月十五日在工次舉行落成放水典禮。該水庫之完成，可弭息酒泉金塔兩縣歷年爭水糾紛，及增益西北糧食生產，其關係殊鉅，故水利部薛部長特頒碑題，並由政方六受沈百先氏親往主持典禮。

鴛鴦池蓄水庫位於金塔境內，在討賴河之佳山峽築壩攔河蓄水，全部工程計分攔河土壩，溢洪道，導水牆，給水涵洞，及進水閘，管制室等各部。土壩之最高處為30公尺餘，體積一百三十萬立方公尺，全部用配合土料攪壓堆實；溢洪道在壩側之山邊開挖明槽寬一百公尺，導水牆介於土壩與溢洪道之間全長計一百八十公尺，用塊石壘砌；給水涵洞在山中穿鑿，並用混凝土護砌長約二百六十公尺，進水閘位於洞口，分為兩孔，中以條石砌墩，每孔各裝鑄鐵司東尼式閘門，管制室在導水牆之盡端，設置鉸車兩座，用兩纜連繫閘門，以司啓閉。

該工程除開挖溢洪道及穿鑿涵洞等石方，特自蘭州以東招僱技術工人外，其餘均由工程處指揮民工工作，但因酒泉兩縣人口疏稀，另計及不失農時，故採用分期輪流徵集辦法，由兩縣縣政府各派專員在工次辦理，其施工工具，悉由工程處統籌分發應用。復因交通運輸之不便，施工時期因洪水季與冰凍季之阻撓，其實施進度每受牽掣，當又適為抗戰最艱苦階段，一切工款工料運輸給養及施工管理等，屢歷艱頓，其困難情形自在意中。

全部工程由甘肅省政府委託甘肅水利林牧公司辦理，於三十一年九月成立肅豐渠工程處，由該公司副總工程師原素欣任工程處主任，自測量鑽探設計試驗備料興工，以迄完成，歷時四年又十月，共計工八十六萬，款十六億，完成後蓄水量一千二百萬立方公尺，可灌田十萬餘畝。

總 幹 事 啟 事

- (一) 會員諸君無論本人或所知其他會員若通訊處改變時，務請隨時將新址開示，以便寄發刊物，傳遞消息。
- (二) 會員諸君如未繳本年度會費者，請從速匯寄。會費徵收標準如下：

	會 員	仲 會 員	初 級 會 員	中 央 機 關 會 員	省 市 機 關 會 員
入 會 費 (元)	20,000	20,000	4,000	600,000	400,000
常 年 會 費 (元)	40,000	20,000	10,000	600,000	400,000

出 版 委 員 會 啟 事

(一) 本刊主旨在研討水工理論，交換工作經驗，蒙各界人士及會員賜稿，曷勝歡迎！惟以經費不裕，篇幅有限，故來稿若已於其他雜誌報章發表，或已透投其他刊物者，務請於篇末註明，俾酌擬提要或彙編索引。至來稿如需退回者，亦希說明為荷。

(二) 水工名詞業經編訂完竣，原擬自本期起陸續刊載，茲因本期編為專號，篇幅限制，故改自下期登載，尚祈鑒諒！

(三) 泥沙問題在吾國水利工程上至關重要，本期編印泥沙專號，旨在檢討過去累積成果，商榷未來研究途徑，並期引起各會員對該問題之廣泛注意，共舒心得。惟以出刊倉卒，徵集容有未週；倘荷諸會員對本期諸作發表意見，提出討論，或另成專著，廣事開發，本會當酌量編印泥沙專號續編。

(四) 黃河堵口專號，在集稿中，尚望各方惠賜佳構。

水 利

編輯者 中國水利工程學會出版委員會

南京廣州路二四九號

主任委員 譚葆泰

委員 汪胡慎 徐世大 張 任 李文邦 周宗蓮

吳沈鈺 胡鳴時 嚴 愷 戴 邗 方宗岱

張瑞達 劉方燁

幹事 吳志成 陳宏德

發行者 中國水利工程學會

南京浦海路九十一號

會 長 須 愷 副會長 沈百先

總幹事 朱士俊 幹 事 何學孟 方元龍

印刷者 美豐祥印書館

南京林森路一二八號

本期專號零售每冊國幣^參二萬元正

本刊廣告刊例	地 位	每 期 廣 告 費
	封 底 外 面	二 百 萬 元
	封 面 或 封 底 內 面	一 百 五 十 萬 元
	普 通 全 面	八 十 萬 元
	普 通 半 面	四 十 萬 元

同濟建築公司

承辦土木建築工程

歷 史 悠 久
信 譽 卓 著

南京上海路三十四號
電話二一〇九〇