

泥沙研究

第三卷 第二期

泥沙研究工作組編

1 9 5 8

水利电力出版社

泥沙研究 第三卷 第二期

編輯者	泥沙研究工作组
出版者	水利电力出版社
发行者	新华书店
印刷者	水利电力出版社印刷厂

本期印数1—1,150 本期定价1.2元

泥 沙 研 究

第三卷 第二期

1958年9月出版

目 录

黄河水流挟沙能力问题的初步研究

.....黄河水利委员会水利科学研究所 麦乔威 赵苏理(1)

官厅水库泥沙测验工作.....官厅水库水文实验站(40)

官厅水库修建后永定河下游河道的变化.....水利科学研究院 尹学良(49)

官厅水库1953—1956年异重流资料初步分析.....侯晖昌等(70)

泥沙颗粒分析的显微镜放大法.....中国科学院水利电力部水利科学研究所 泥沙研究所(95)

重要泥沙文献目录(100)

黄河水流挟沙能力問題的初步研究

黄河水利委员会水利科学研究所

麥乔威 趙苏理

黄河是一条多泥沙的河流，泥沙問題是把黄河变害河为利河的一个关键問題。黄河泥沙問題包括水源地的冲刷与反冲刷，水庫內的淤积与反淤积，河渠內的冲淤变化及水流挟沙基本性質等問題。

研究并解决这些問題，需要做复杂的大量工作，建国以来，在党和政府的领导下，在苏联专家的帮助下，明确了从实际情况出发，以野外測驗与室內試驗相結合的研究方法，在黄河上开展了一系列的观测工作，累积了一定量的资料，这就为研究解决这些問題提供了可能性。

黄河通过陕县的悬移泥沙多年平均年輸沙量为13.6亿公吨，年平均含沙量为32.2公斤/公方。连同陕县秦厂区間来沙37亿公吨計算在内，秦厂年沙量达13.97亿公吨，通过洛口入海的年沙量为10.7亿公吨，占上游来沙的76.6%，其余23.4%(3.27亿公吨)淤积在秦厂洛口的河槽上，如按照现有堤間面积計算，河槽平均每年約淤高0.056公尺⁽¹⁾⁽²⁾，河槽的逐漸淤高，就造成了今天黄河下游成为悬河的現狀，从黄河現狀出发，以及从三門峽水庫建成后下游河道可能冲淤情况的預測出发，黄河下游的河道能排出多少泥沙？黄河水流能帶出多少泥沙而不致淤积，是人民向黄河水害作斗争和改造黄河的斗争中的一个重要問題，这就是我們习惯称为的水流挟沙能力問題。

关于水流挟沙能力的研究，国内外学者从理論出发，或根据不同的河渠測驗資料或試驗室資料，曾提出过不少理論的、半經驗的或經驗的公式。但由于理論本身的不成熟和采用資料的局限性，它們对黄河的适用性如何尚需要通过黄河資料的驗證来回答。

本报告是选择符合于研究水流挟沙能力的黄河实測資料，先用以驗證各家研究的公式，最后并找出了适合黄河的經驗公式，同时还引用了引黄渠系及本会水利科学研究所水槽試驗資料，我們感到結果还是比较令人滿意的。

本报告是在本会水利科学研究所工程师麥乔威、趙苏理主持下，由技术員張維明、潘寶弟、华正本、毕慈芬等十余人共同完成。

一、黄河泥沙測驗情况

1. 普通泥沙測驗与精密泥沙測驗

黄河悬移泥沙測驗最早于1919年在洛口，1920年在陕县开始⁽³⁾，其后續有增加，截至1955年止，全河干支流上測驗悬移泥沙含沙量的站有84个，測站中积累資料最長的是陕县有25年，根据整編結果，解放前測驗方法不一致，各站資料殘缺不系統，大致以1934~1937年較好，解放后，黄河上才逐漸有了統一規格系統的精度較高的資料。

按照規範⁽⁴⁾每次在断面上取少数測点（最少一点）沙样用来代表断面平均含沙量称为普通泥沙測驗，根据測驗資料，可以满足輸沙的量的計算，普通泥沙測驗的采样次数，根据沙量变化情况决定，在汛期含沙量变化很大时，測驗頻度达到半小时采样一次，在变化不大时，則一天兩次，非汛期，有时几天一次，普通泥沙測驗沙样，1956年才开始进行顆粒分析工作。

精密泥沙測驗是为了專題研究的目的而进行的，在測驗項目上要求完整，在測驗精度上也比一般水文測驗要求高，在断面上多綫多点測流速，采取悬移泥沙沙样，求其含沙量与泥沙顆粒大小，根据測驗結果可以了解泥沙在断面上的分布及其与水力泥沙因素質的关系。

2. 精密泥沙測驗的布置

黄河精密泥沙測驗开始于1950年,其測站数目与測驗項目是逐渐增加逐渐完整的,截至1955年止增加至17个站(不包括已撤銷的兩站),已累积測驗資料1112次,各精密泥沙測驗站施測起止時間如附表1。

进行精密泥沙測驗的站即原来的一部分水文站,它們的施測条件比較良好,分布在干流及主要支流上,有的在峡谷河段,有的在冲积河段,所有这些測站的位置,可以代表黄河不同性質的各个河段。各測站的分布見图1,各站河段情况見图2,測站的施測橫断面如图3(見插頁),精密泥沙測驗施測起止時間、測段、河槽水流情况略如附表1。

进行精密泥沙測驗的測站的断面布置情况大体相同:中間一个主断面,在其上下游各有一个副断面,上副断面以上及下副断面以下与主断面等距处設比降水尺,有少数測站,限于河段条件,不能按这个情况布置,比降水尺与主断面距离不相等,有个別測站,以主断面水尺为上(下)比降水尺。

断面上測綫的分布是:五个測点的測綫不少于五条(1955年增至7~10条),測綫分布力求能控制断面形狀及水流情况的变化,深槽較密,淺槽較稀。

測綫上測点数按水深决定。水深在1公尺以下的取0.6水深,水深1~2公尺的取0.2,0.6,0.8水深三点,水深2~3公尺的取

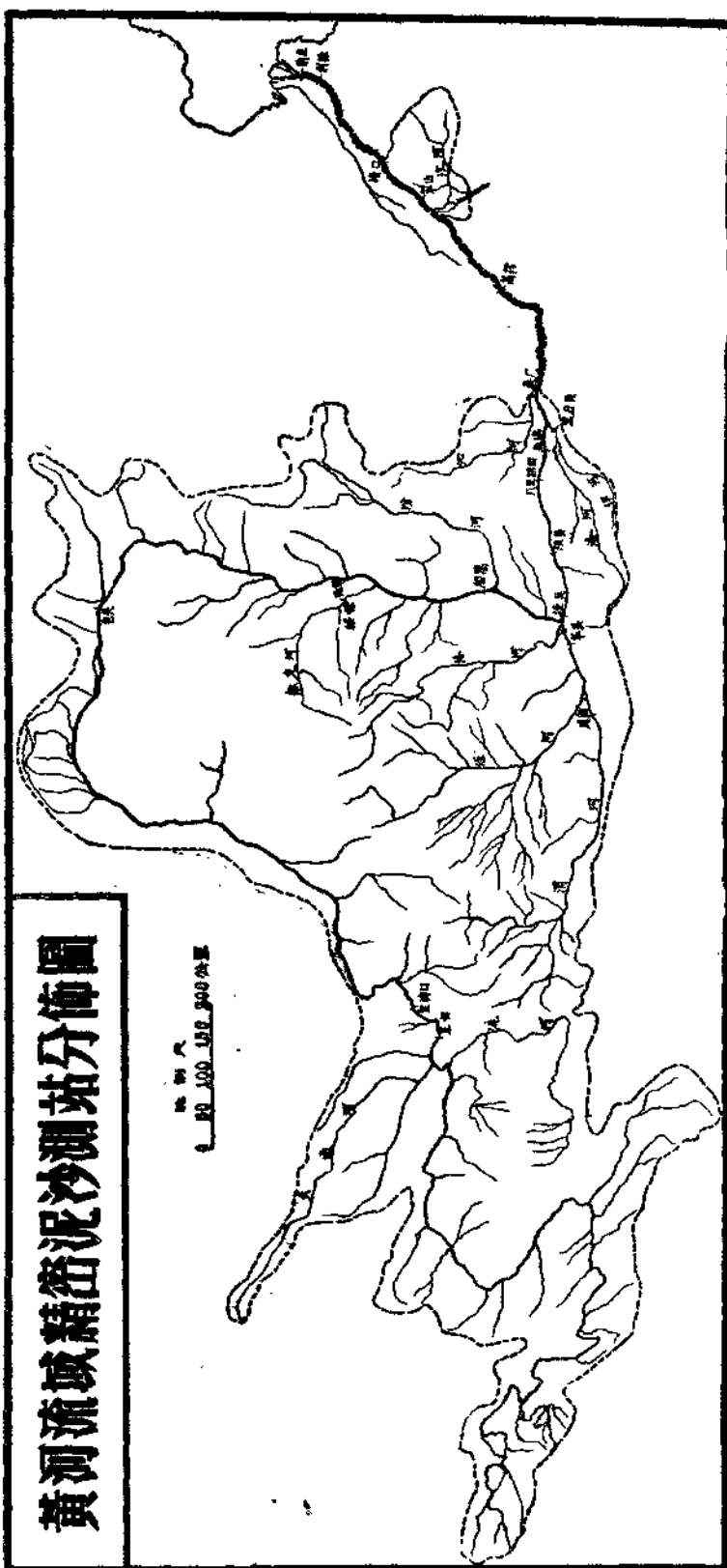


图1

表 1 各种温度下不同粒径泥沙沉降速度表 (泥沙比重=2.70)

泥沙粒径 (mm)	各种温度下的沉降速度 (cm/sec)						
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
0.5	6.06	6.54	6.98	7.42	7.82	8.24	8.56
0.4	4.55	4.97	5.36	5.73	6.10	6.48	6.80
0.3	3.14	3.43	3.72	4.02	4.32	4.59	4.84
0.25	2.35	2.64	2.92	3.17	3.42	3.66	3.87
0.20	1.70	1.91	2.12	2.31	2.50	2.68	2.83
0.15	1.06	1.21	1.36	1.50	1.63	1.78	1.92
0.10	0.505	0.615	0.684	0.755	0.847	0.937	1.01
0.08	0.333	0.391	0.452	0.516	0.587	0.659	0.728
0.06	0.187	0.220	0.255	0.292	0.330	0.370	0.414
0.04	0.083	0.0975	0.113	0.129	0.147	0.165	0.183
0.03	0.0467	0.0550	0.0636	0.0729	0.0830	0.0928	0.103
0.02	0.0208	0.0245	0.0283	0.0324	0.0366	0.0413	0.0461
0.015	0.0117	0.0137	0.0159	0.0182	0.0206	0.0232	0.0259
0.010	0.0052	0.00612	0.00710	0.00813	0.00920	0.0103	0.0115
0.005	0.00130	0.00152	0.00176	0.00202	0.00229	0.00257	0.00286
0.0025	0.000324	0.000381	0.000442	0.0005050	0.000573	0.000646	0.000721

0.0, 0.2, 0.6, 0.8, 1.0水深五点, 水深大于3公尺的取0.0, 0.2, 0.6, 0.8, 0.9, 1.0水深六点。

精密泥沙测验的项目是比较全面的, 这些项目包括:

(一)水流因子: 水位、比降、流速、河宽、水深; (二)泥沙因子: 悬移泥沙含沙量及其粒径大小、泥沙比重; (三)河床因子: 河床质组成; (四)其他: 风力、风向、水温、气温、河水杂质含量、河滩淤积土量及粒径。这些因子的测验方法如下:

(一)水位——用水柱直立水尺, 刻度至2公分(个别至1公分), 但有些测站水尺受桥梁与堰等局部影响, 且洪水时水草多, 水尺挂草冰期流凌的撞击, 以及河岸冲陡奠定, 水尺有被撞歪冲失的情况, 都影响水位资料的质量。

(二)比降——比降水尺间距用公式 $l=140\Delta h/nH$ 计算

式中 l ——以公里计的比降水尺间距;

Δh ——测定上下比降水位的精确度, 以公厘计;

H ——河流1公里的落差, 以公厘计;

n ——规定测定比降的准确度, 以%计, 本会规定5~10%比降水尺规定于测验开始及終了各观测一次, 取其平均值计算比降。

(三)水深——一般均以木制(或铁制)测深杆施测, 刻度至0.1~0.2公尺可估读至0.05公尺, 杆下端装0.1公尺直径的圆盘, 一般可测水深6公尺, 个别站可测得8公尺的水深。不用测深杆时, 用测深锤测深, 测深锤所施测水深, 因水流冲击测锤下斜, 虽加倾斜改正, 不如测深杆准确可靠。

(四)流速——一般均用南京水工仪器厂制造的旋杯式流速仪, 其性能约0.1~3.0公尺/秒, 测速所用时间, 每个测点60~120秒, 流速仪只能在平时使用, 洪峰时多采用浮标法测水面流速, 流速仪旋转部分常因细沙侵入而磨损, 影响了测速质量。由各站采用新校定流速仪平行测验, 如平均误差大于5%时, 则不再使用, 测速时测船下滑, 其距离根据估计改正, 船滑速度不等, 一般0.2~0.3公尺/秒, 最大至0.72公尺/秒。

(五)悬移泥沙含沙量——采用容量1800立方公分的横式采样器采样, 泥沙重量用过滤烘干法或置换法求得, 含沙量以容量含沙量公斤/公方表示, 断面平均含沙量, 根据测点含沙量加权平均计算。

(六)河床质取样——由各站根据具体情况自制工具, 以采得河床表面土样, 有蚌式、鑽式等数种。

(七)泥沙粒径大小——采用筛析法结合比重计法(或滴定管法)分析, 比重计法(或滴定管法)分析的

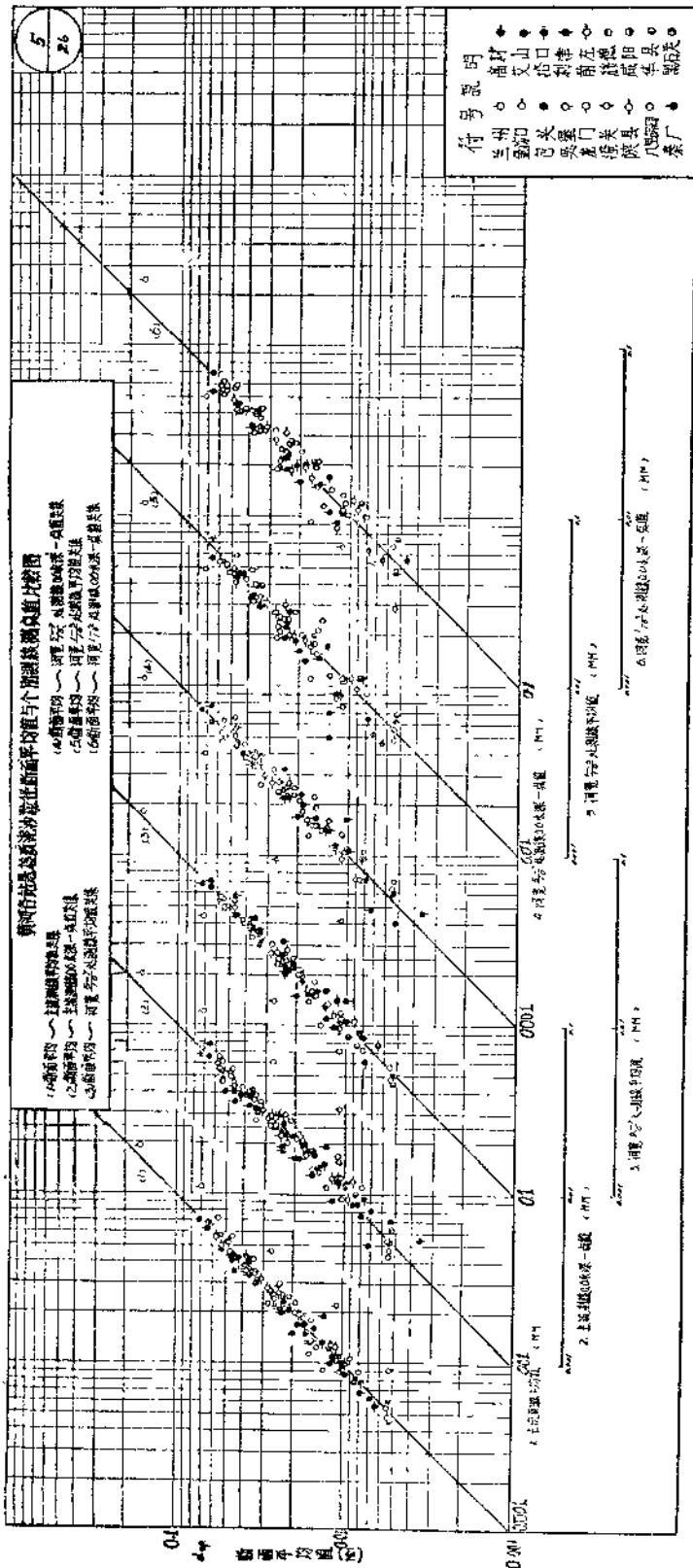


图 5

3.精密泥沙成果与普通泥沙测验成果的比较

精密泥沙测验开始于1950年,最初在潼关以下主要水文站上进行,在时间上是掌握相应洪峰及水位涨落平的不同情况下施测,目的是为了了解泥沙粗细沿河的变化,及不同水情下泥沙在断面上的分布情况,以后感到在掌握上存在困难,有时洪峰到达时施测困难,不能如理想的获得完整资料,同时由于水情变化,断面变化,使分析研究工作复杂化,自1952年改为在水流平稳时施测以迄于今。

由于精密泥沙测验在断面上布点较多,测验项目也较完整,断面上较多的测点,使得我们可以了解断面的分布并检验其合理性,项目的完整也使我们可以更全面的来了解测验所处的情况,这些都是精密泥沙测验的优点,但是就各个因子说来,施测条件仍旧是原来普通水文测验的条件,虽然我们希望它的精度应该高些,但也是有限的。

同时,精密泥沙测验截至1955年止,一共才进行了1112次,而完全整理过的才554次(见附表1),这些测次很多是不符合我们挟沙能力研究要求的条件,仅仅从精密泥沙测次中选取挟沙能力研究的资料,为数很少,如果能证明精密泥沙测验成果与普通泥沙测验成果之间的关系是良好的,我们就可以引用普通泥沙测验的资料,就可以扩大我们资料的范围。

如上所述,精密泥沙最大的优点是断面上测点多,如果能找出断面上平均值与某一点的某一测验的关系,我们就可以利用只有某一测验或某一测点的测验资料,加以改正,作为断面平均值。

選擇黃河干支各站水流穩定，断面比較穩定，且是單式断面而形狀又大致對稱情況下的精密泥沙測驗資料91次，求其主流 $1/10 \sim 3/10$ 河寬處，及 $5 \sim 7/10$ 河寬處測驗平均，及各該測驗上0.6水深一點的实测含沙量及平均粒徑对断面平均值的關係點繪如图4和图5。由圖可知，它們間的關係是很好的。因此，我們可以同時根據挑選出符合規定條件的普通泥沙測驗資料与精密泥沙測驗資料，以進行水流挟沙能力問題的研 究⁽⁶⁾。

二、研究資料的选定

水流的挟沙情况可以分为三种：一种是超饱和即挟沙量超过水流的挟沙能力，此时河段淤积；一种是未饱和即挟沙量小于水流的挟沙能力，此时河段组成如能冲刷即被冲刷；一种是饱和即挟沙量与水流的挟沙能力相等，河段不冲不淤。所謂水流挟沙能力就是剛剛不淤时的饱和含沙量。

1. 选点的基本原则

按照挟沙能力的意义很明显的，不是所有实测資料都可以作为研究水流挟沙能力的对象，而必須对資料加以選擇。

挟沙量正等于水流挟沙能力，可以是处于水流条件不变泥沙因子变化下出現，也可以在泥沙因子变化下出現。在自然河流中絕對的不变几乎是不可能存在的，因而这里所謂不变只是对变化的相对理解。

在自然河流中变化是随时存在的，由于施測時間的延長与施測結果的相对准确度使我們难以使用水流条件或泥沙因子正在作迅速变化的資料。我們只能采用水流条件与泥沙因子在時間和空間上穩定或变化迟緩資料。

依照挟沙能力的定义，我們應該選擇由淤剛剛轉变为不淤的資料。从理論上說这个临界情况的存在是短暫的，而实际資料是每几天才測驗一次，測驗時間也不可能剛剛在这个時間，实际資料所給我們的就是几天測一次的結果的連續过程綫，因而我們根据这个几天測一次所点繪出来的过程綫選擇在过程綫上所判斷出来由淤到不淤的測次及其以后的一次或二次，如果这二次或三次中泥沙水力因子变化不大，各因子在断面上分布相互关系合理，就取这二次或三次的平均值作为研究的依据資料。

2. 选点的方法与程序

(一)根据过程綫初选时段。根据各站逐日平均水位(G)流量(Q)含沙量(P)实测測次的水力半徑(R)比降(i)断面平均流速(V)断面平均悬移泥沙沉降速度(w)断而累积冲刷面积($\Sigma \Delta A$)的过程綫选取 $\Sigma \Delta A$ 由淤到不淤， Q, P 沒有显著变化的时段。在各年中我們剔除了流冰期及封冻期的时段。我們不挑选累积冲得最大的时段，因为这时可能达到河床冲不动的土层或已达到石岩。我們还注意在时段中是否有因子缺測，缺測的是否可以設法插补，如无法插补也就不选。

(二)根据断面而图判定是否处于平衡。虽然在过程綫上 $\Sigma \Delta A$ 无变化，但可能是在断面上左冲右淤或灘岸冲槽淤，因此必須把断面圖量繪在一起，以判定断面是否处于不变的情况，在判定断面而图是否处于平衡时，曾經注意到測深精度对于近边部分，特別还考虑到測点分布的情况。

(三)根据 V, P 橫向分布垂向分布圖看是否合理。处于平衡状态下的 V, P 分布應該是合乎一般規律面不应该有特殊的分量的。比如流速沿河寬方向的分布应与水深对称，悬移泥沙含沙量則几乎在橫向上沒有变化，流速沿水深方向的分布應該近似一个拋物綫而悬移泥沙含沙量对于較粗的泥沙則應該是愈近河底愈大。对于不合乎这些規律面又不能作适当解釋的則予舍弃。

(四)根据因子关系綫作合理性檢查，处于平衡状态的資料的各因子間應該是合理的，因而把經過上述步驟挑選出来的測驗資料的各个因子对其他因子的关系圖上，不應該是突出的，对于突出而又不能作适当解釋的則予舍弃。應該說明这些关系綫一般都是散亂的，成單直关系的是个別的，有少数关系綫極端散亂，几乎連趨勢也看不出来，因此只能作一粗略的檢查，以避免有严重的錯誤情形。

(五)缺測項目的插補，經過上述步驟已选出的資料中如有缺測的項目則須進行插補，在这次选点中补

插最多的是 w 值, 在补插时我们主要根据 $w \sim \rho w \sim V w \sim Q$ 关系, 参考本站历年 w 过程线及邻站相应时间的实测值。这次还插补了一些 i 值, 插补时主要根据本站同年 $i \sim G \quad i \sim Q \quad i \sim V$ 关系, 本站 i 过程线。

(六) 根据河段情况论证, 如前所述, 黄河各站的河段条件是不同的, 各站的测验条件也是不同的, 选出资料的可靠程度, 必须结合测站的施测条件来考虑。比如陕县站洪水期有时出现卵石, 枯水期是沙床, 断面图上出现的高差是施测的误差呢? 还是卵石的移动呢? 还是河床在冲淤。在论证时需要结合资料相互对比对该资料作出鉴定。

(七) 时段平均值的计算, 河段的稳定, 是一定历时的水流条件与泥沙因子河床相互作用的结果, 因而必须把所选时段内各因子值加以平均, 选出时段平均值, 又可以相对的减小各测次的测验误差的影响。这次选用的资料, 除个别较短时段外, 绝大多数都是一个时段的因子的平均值。在计算时 Q, ρ 两个因子采用已经整编的日平均值加以算术平均, $ABi w$ 值则用各测次实测值的算术平均, 如主槽之外, V 以平均后的 Q, A 计算, H 以平均后的 AB 计算, 有小槽和复式断面有边流部分水流很浅则予平均时予以舍弃, 只使用主槽数值。

表 2

資料变化范围统计如下:

流量	Q	3860—29.3	公方/秒
断面面积	A	1360—31.7	平方公尺
断面平均流速	V	3.03—0.49	公尺/秒
水面宽	B	843—34.2	公尺
断面平均水深	H	7.54—0.45	公尺
宽深比	B/H	775—13.9	
水力半径	R	7.01—0.43	公尺
水面比降		11.5—0.36	
糙率 $n = 1/V R^{2/3} S^{1/2}$	n	0.039—0.005	
断面平均悬移质含沙量	ρ	53.8—0.23	公斤/公方
断面平均悬移质泥沙沉降速度	w	1.0—0.054	公分/秒
断面平均悬移质粒径	D	0.11—0.024	公厘

在挑选过程中我们是充分的忠实于原始资料, 对存在有可疑之点的资料, 不能作适当的解释的资料, 我们仍予舍弃不作修正。

经过上述步骤选出的资料92个时段, 各站年选用数见表2, 各时段数值如表4。

3. 冲淤点的选择

为了检验公式对冲淤的判别, 我们曾根据下面两原则来选择冲淤资料,

(一) 测站的 $Q \sim \rho$ 关系线, 在测站上每年有冲淤时期, 也有基本不冲不淤的时期, 假定同一流量值泥沙粒径相同, 则较大的含沙量淤, 较少的含沙量冲。

(二) 断面图上连续发生冲淤的时期。

符合上述两条的点选用冲淤资料, 计共选28点, 各站年数如表3。

表 3

选用冲淤资料统计表

站 别	冲					淤		
	1954	1955	小 计	1953	1954	1955	小 计	
蘭州門縣高洛利	1	1	2		1		1	
					6		6	
			1		1		1	
	1		1		2		2	
	1	3	3	1	3	1	5	
				2	4		6	
合 計		7				21		

上表中的資料如附表3。

表 4

黃河各站年选用时段統計表

站 名	选 用 时 段 数							包括测次	其 中 精密泥沙 測驗次數
	1950	1951	1952	1953	1954	1955	累 計		
蘭 州					1	2	3	6	1
金 溝						3	3	7	1
吳 堡			1				1	2	
龍 門					2	2	4	8	
潼 關			1	1			2	4	
陝 縣			1	1	2	3	7	14	
八里胡同		1		4	2	2	9	21	
秦 厂		1	1	1	1		4	8	
高 村		1	1		1	1	4	8	
艾 山			4	2		2	8	16	2
洛 口	3	3	1		2	1	10	22	3
利 津	1	3	1	3	3	2	13	26	1
前 左					3	2	5	11	1
觀 德					1		1	2	
咸 陽		1		3	1		4	10	
華 縣		1	3	3	2	2	11	25	2
黑 石 关			1	1	1	1	3	8	
合 計	4	11	15	19	20	23	92	198	11

三、已有經驗公式的驗證

如上所述，計算水流挟沙能力的經驗公式是很多的，自从肯尼第 (R. G. Kennedy) 分析了印度既成渠道的測驗資料，提出了第一个不冲流速公式以后的60年中，許多人企图通过修正其指数与系数的办法来找到合适的經驗公式。苏联学者从更周密的考虑出发，根据他們國內的測驗資料結合理論的研究，提出了更多的經驗公式，除此以外，在國內也有人对这个問題做过研究，提出了計算公式，最后，我所在 1956 年 1957 年曾兩次根据人民胜利渠渠系的測驗資料及引黃渠系測驗資料，提出过計算公式。

現將用来驗證的公式与驗證結果分述如下：

1. 肯尼第 (R. G. Kennedy) 公式 (1895年) 和拉塞 (G. Lacey) 公式⁽¹⁾ (1930年)

$$\text{肯尼第公式: } V_0 = 0.54h^{0.64} \quad (1)$$

$$\text{拉 塞公式: } V_0 = 0.645\sqrt{fR} \quad (1-1)$$

式中 V_0 ——临界 (不淤) 流速，公尺/秒；

h ——水深，公尺；

R ——水力半徑，公尺；

f ——与泥沙粒徑有关的泥沙系数。

公式是根据印度下巴利拉勃灌溉渠系 (Lowen Bari Donb Canal system) 的資料得来的，其資料范围如下：

流量 Q 2~48 公方/秒

水深 h 0.6~2.0 公尺

寬深比 4~15 公尺

糙率 n 0.0225

泥沙粒徑 D 0.25~7.0 公厘

公式 (1) (1-1) 中的系数与指数并非常数，因而公式的型式为：

$$V_0 = ah^b$$

$$V_0 = cR^m$$

式中 $a=0.33\sim 0.80$

$n=0.47\sim 1.14$

$c=0.40\sim 0.65$

$m=0.50\sim 0.71$

在验证时, 为了简便起见, ac 均采用 1.0。

公式 (1) (1-1) 的验证结果如图 (6) (6-1)。

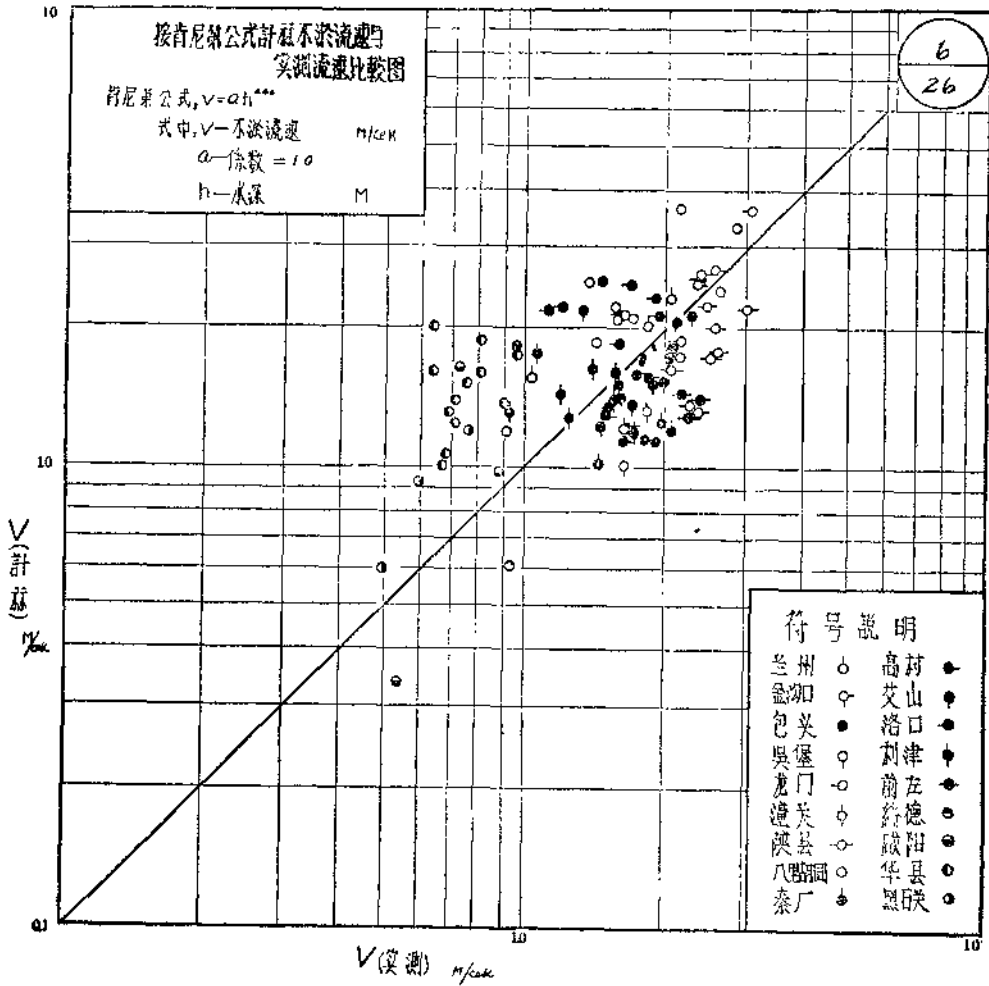


图 6

3. 吉尔什堪 (С. А. Гиришкан) 公式 (1947 年)

$$V_0 = AQ^{0.2} \quad (2)$$

$$\rho = BQ^{0.4}i \quad (2-1)$$

式中 V_0 ——不淤流速, 公尺/秒;

ρ ——水流挟沙能力, 公斤/公方;

Q ——流量, 公方/秒;

i ——水面比降;

A ——系数因悬移质泥沙断面平均沉降速度 W 而变。

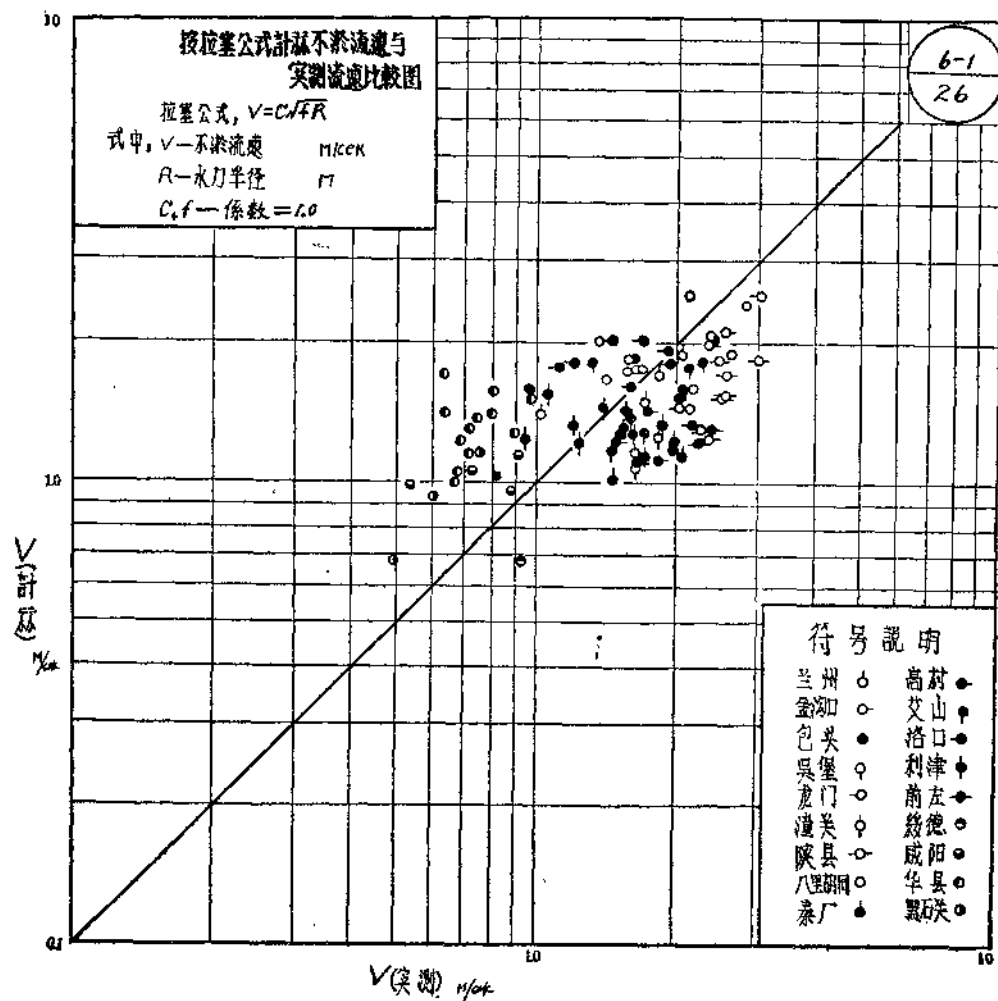


图6-1

W	公厘/秒	0.5—1.5	1.5—3.5	>3.5	
A		3/9	4/9	5/9	
W	公厘/秒	0.5—1.5	1.6—3.5	3.6—6.5	>6.5
B		4700	3000	1100	600

公式(2)(2-1)是根据苏联中亚細亞各灌溉渠系的資料得来, 它所根据的資料范围如下,

流量 Q	0.41~120.8 公方/秒
含沙量	0.15~6.9 公斤/公方
流速 V	0.27~1.70 公尺/秒
水力半径 R	0.22~2.47 公尺
水面比降 i	0.18~12.50/1000
糙率 n	0.014~0.034

公式(2)(2-1)是苏联国家标准ГОСТ3908-47所推荐的簡便公式, 在中亚細亞的条件下, 可以使用这公式粗略地确定不淤流速及挟沙能力, 但它們不适用于流量小于0.4公方/秒, 流速小于0.3公尺/秒, 悬移泥沙沉降速度小于0.4公厘/秒的情况。

公式(2)(2-1)的验证結果如图(7)(7-1)。

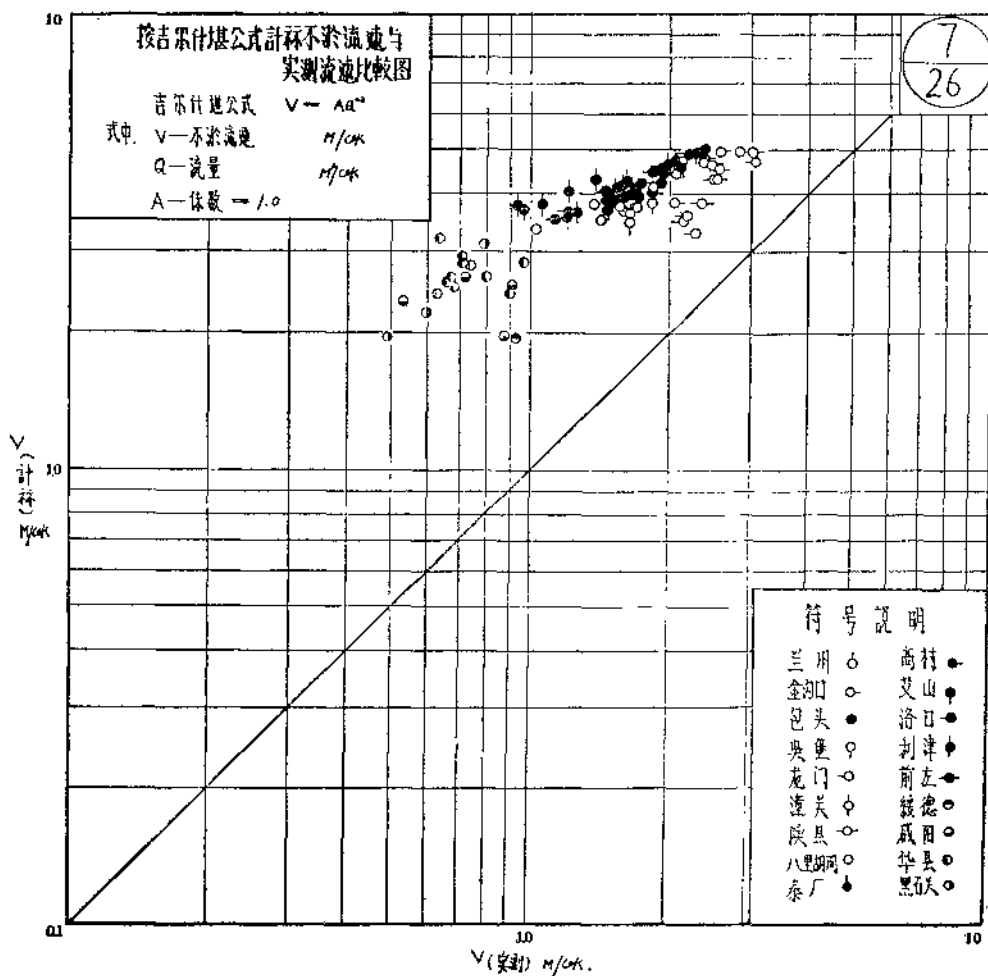


图 7

3. 扎馬林 (E. A. Замарин) 公式⁽⁹⁾ (1947 年)

$$\rho = 0.022 \sqrt{\frac{V}{w_0}} \sqrt{\frac{Ri\gamma}{w}} \quad (3)$$

式中 ρ ——水流挟沙能力, 公斤/公方;

V ——流速, 公尺/秒;

R ——水力半径, 公尺;

i ——水面比降;

w ——悬移泥沙加权平均沉降速度, 公尺/秒。

当 $w = 0.002 \sim 0.008$ 公尺/秒时, $w_0 = w$;

$w = 0.0004 \sim 0.002$ 公尺/秒时 $w_0 = 0.002$ 。

w 的计算用下式求得各組泥沙的几何平均值后再求加权平均值:

$$w_{\text{中}} = \frac{w_1 + w_2 + \sqrt{w_1 w_2}}{3}$$

公式 (3) 根据的資料范围如同式 (2)。

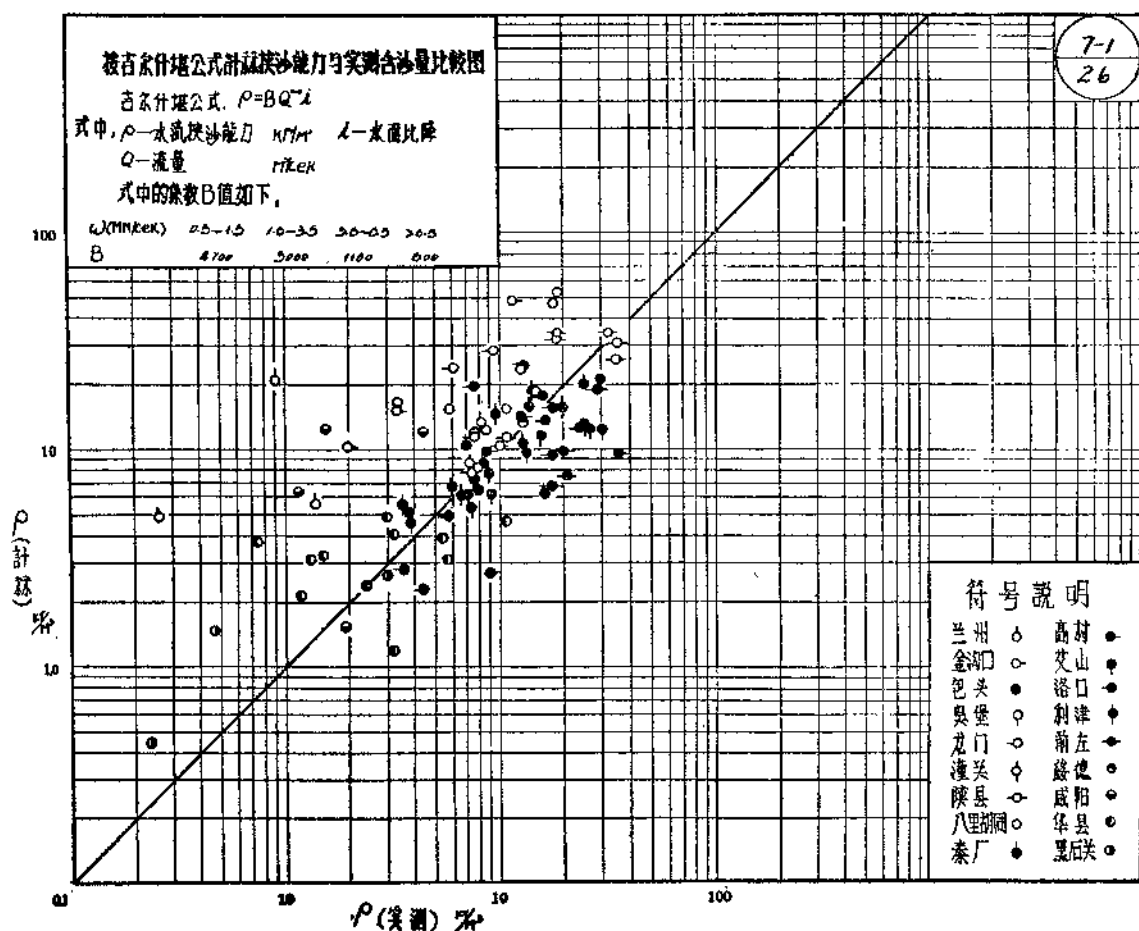


图7-1

公式(3)为苏联国家标准ГОСТ3908-47所推荐,当编制灌溉渠系的技术设计,灌溉面积达10,000公顷,和渠道流量达10公方/秒时可以采用这公式。公式的作者指出,公式(3)是适用于渠道的,然亦可用以大致确定河流含沙量,用公式(3)粗估主要是含有黄土质的泥沙,且含沙量达150公斤/公方的大河流的含沙量,是可以允许的。

公式(3)的验证结果如图8。

4.波斯拉斯基(В. В. Пославский) 公式⁽⁹⁾(1933)

作者整理了中亚细亚野外实测资料的结果,提出了以下的水流挟沙能力公式:

$$\rho = K R i \quad (4)$$

式中 ρ —水流挟沙能力,

i —水面坡度,

R —水力半径,

K —系数,由17,000至24,000第二数值时渠道还有淤积可能,在验证时为了简单起见, K 系数采用1.0, i 采用‰计。

式(4)的验证结果如图(9)。

5.契库拉也夫(Г. С. Чекулаев) 公式⁽¹⁰⁾(1945)



(5)

(6)

 γ_1, γ_2 ——泥沙和水的比重,

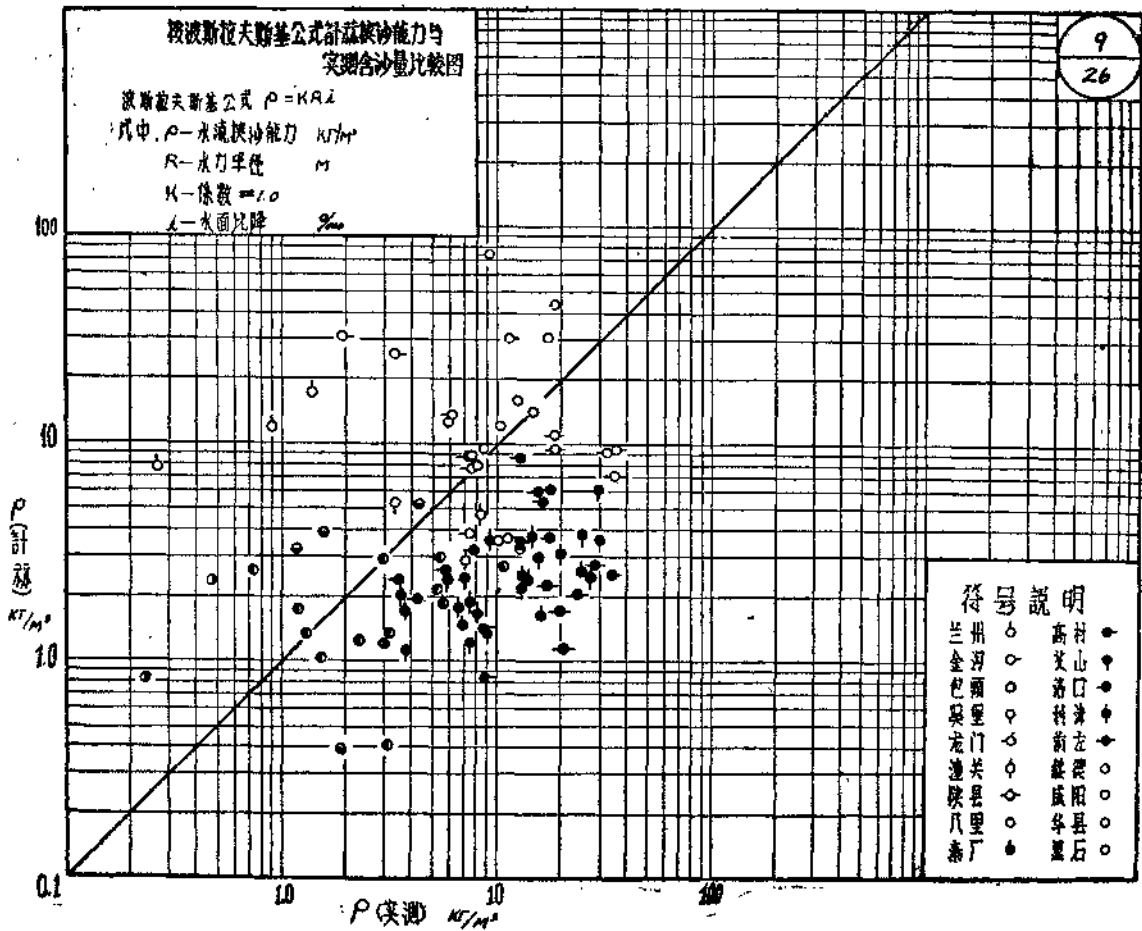


图 9

w ——悬移泥沙加权平均沉降速度, 公厘/秒,

R ——水力半径, 公尺,

i ——水面比降,

V ——流速, 公尺/秒。

当泥沙比重为一定时, 水的比重作为常数时

$$\rho = K \frac{RiV}{w} \quad (6')$$

公式(6')为验证结果如图(11)。

7. 罗泊庆 (Г. В. Лапатин) 公式⁽¹⁰⁾ (1952)

$$\rho = \frac{4\rho_s^{0.5}i}{n^2w_{0.9}} \quad (7)$$

式中 ρ ——水流挟沙能力, 公斤/公方,

V ——流速, 公尺/秒,

i ——水面比降,

n ——糙率系数,