

黄河的输沙规律及治理 问题的初步探讨

赵 业 安

黄河水利委员会水利科学研究所

一九六五年五月

这是为1964年治黄会议写的一份意见，1965年初曾送黄委会规划办公室领导阅示，并被推荐到“黄河建设”，但未发表。二十多年过去了，实践表明，文中的主要论点是符合黄河客观实际的，现将原稿印出（仅删去两段语录），供大家讨论。

赵业安

一九八七年十月



目 录

前 言

一、黄河的输沙规律

- (一)、多来多排，少来少排
- (二)、大水多排，小水少排；主槽泄水排沙多排水流漫滩滞洪淤滩少排
- (三)、水流集中多排，分水分沙少排
- (四)、汛期多排，非汛期少排；细沙多排，粗沙少排
- (五)、水沙适应多排，水沙不适应少排

二、治理黄河的基本思想

- (一)、水土保持是治黄的基础，但对水土保持的作用应有恰当的估计
- (二)、调正水沙过程，提高水流的输沙能力，改变断面冲淤分布，减少主槽淤积，增加河道稳定性，是治黄工作的核心
- (三)、黄河下游的河道、河口整治及两岸放淤的问题
- (四)、黄河下游的防洪问题
- (五)、充分利用黄河水电资源，兴黄河之利，除黄河之害
- (六)、调整水沙过程的工程措施的布局问题

三、多沙河流上修建永久使用及长期使用水库的可能性。

结 论

参考文献

黄河的输沙规律及治理问题的初步探讨

前 言

治黄工作实质上是一个处理黄河泥沙的工作。围绕着如何处理黄河十六亿吨泥沙的问题，现在又展开了热烈的讨论。虽然各方面的意见很多，但归根结蒂还是“拦”与“排”之争。当然，除极少数人主张绝对地“拦”或绝对地“排”之外，大多数是在以“拦”为主还是以“排”为主方面，发生了争论。各方面的意见概括起来可以分为几个主要方面：

一、在上、中游减少来沙

1、大力开展水土保持工作（包括林、草、梯田等面和坡的治理，大、中、小沟的治理，以及引洪漫地等水利措施）；

2 由于三门峡水库及黄河下游河道淤积发展迅速，而土保持显著生效所需的时间很长，所以作为过渡性的措施又提出在黄河中、上游各主要干支流修建控制性的拦泥水库及在支毛沟大量发展淤地坝群。

二、在下游增加入海沙量及处理泥沙

1、通过河道整治加大下游河道输沙能力；

2、放淤和排沙相结合，实行大规模的两岸放淤，使洪、枯水分走两道，洪水期输沙入海，枯水期改道放淤；

3、调整水沙过程，使水沙关系适应，增大枯水流量以提高水流输沙能力及改变断面冲淤分布，减少主槽淤积，增加河道稳定性；

4、南水北调、引清刷黄。

上述各家意见大都是一些设想，工作做得不多，虽各有一定理由，但一般只从个别方面认识黄河、还没有能够从全面认识黄河特性出发，提出综合性的治理方案。这里我们也根据这几年来对黄河输沙规律的一些粗浅认识，谈谈自己对于治理黄河的初步想法：黄河是多沙河流、治黄必须全面掌握并充分利用多沙河流的输沙规律及冲淤演变特性。黄河下游河道淤积恶化的主要原因不是水少沙多，而是来水来沙过程及其相互关系。通过调节水沙过程就可以提高下游河道的输沙能力，增加入海沙量，减少河道淤积数量，改变淤积部位及冲淤发展过程，使河床演变特性趋于好转。因此治黄工作应以水土保持为基础，反调节水沙过程为主导，贯彻防洪、防凌、放淤与发电相结合，除害与兴利、集中治理与分散治理，上中游地区工程与下游地区工程相结合，上拦与下排，增水与减沙相结合的方针。但由于水土保持显著生效需要较长时间，即使全部生效以后，黄河的含沙量仍然很高、所以处理黄河泥沙必须以

输沙入海为主,适当地小规模地在下游地区两岸放淤为辅,积极进行河道及河口整治,保持下游河道的泄洪排沙能力,使黄河下游河道少淤或不淤,确保黄河永不决口改道。总之,水土保持、中下游干流峡谷段防洪反调节水沙发电水库和下游河道、河口治理及两岸放淤是治好黄河的综合措施,充分利用黄河水利资源,根除黄河灾害。

一、黄河的输沙规律

(一)、多来多排,少来少排。

多沙河流的河床调整非常灵敏,随着来水来沙条件的改变,同一流量下的挟沙能力时常可以呈现大幅度的调整,而且影响所及的范围可以达到很远的距离。黄河下游的实测资料表明,黄河下游河床调整的结果为:在同一流量下,任一河段的挟沙能力取决于上段来沙量。当上游造床质来沙量加大时,沿程挟沙能力相应提高,使下泄的沙量一路偏高。相反地,如果上游造床质来沙量有所减少,则沿程挟沙能力皆下降,使下泄的沙量一路偏低。也就是说,多来多排,少来少排[1]。由于水流挟沙能力的调整是通过河床的冲淤来体现的,所以一般情况下,如果河床处于淤积状态,当上游造床质来沙量增多时,水流挟沙能力提高,河床的淤积量也相应有所增加,亦即多来多排多淤,少来少排少淤(或多冲)。

(二)、大水多排,小水少排;主槽泄水排沙多排,水流漫滩滞洪淤滩少排。

多沙河流的输沙率与流量的高次方成正比,故而同水量下,随着流量的增加,水流的输沙能力也相应增大。但当水流漫滩后,一方面由于滩地阻力远较主槽为大,通过横向水体交换,主槽流速有所削弱。然而更重要的是泥沙的横向交换,由于滩地流速远较主槽为低,大量泥沙落淤滩地,所以当流量增加至某一数值后(一般接近平滩流量),河道的排沙能力反而开始有所下降,如图1所示。以后随着流量的继续增加,滩地与主槽流速相应加大,当流量增至一定数值后,排沙能力才又逐渐回增。

河道的排沙能力与来水来沙数量,过程以及河床边界条件(包括河床的几何形态及河床组成特性)有关。不同的洪峰,沙峰出现在不同的河床边界上,即使水量相近,但排沙量却可有极大的差别。表1中列举了二次典型洪峰过程中下游河道的排沙情况。可以看出,同水量下(1958年洪峰、三门峡、秦厂间来水为主,若加上区间来水,则三门峡下游的来水量亦为70多亿立方米),1958年7月的洪峰,由于洪峰流量远较1959年8月洪峰为大,水流普遍漫滩,通过滩槽泥沙交换,大量泥沙落于滩地,虽然来沙量比1959年洪峰少得多,主槽普遍发生强烈冲刷,但排沙量却远较1959年的洪峰为小。

(三)、分水分沙少排,水流集中多排

分水分沙会降低水流的输沙能力是人所共知的,但对于河道冲淤的影响怎样呢?这需要进行具体的分析。一方面,随着分水百分比的增加,水流的输沙能力相应减少,相对淤积量增加,冲刷量减少,但河道的绝对淤积量或冲刷量却与来水来沙条件有关。流量一定时,当来沙量较高时,河床处于强烈堆积状态,分水分沙的结果,河道的淤积量将有所减少;当来沙量较低时,即便河道还处于堆积状态,但由于分水后输沙能力降低,使河道淤积量的增加值要比所分出水体在河道中的淤积量大,所以绝对淤积量却会增加,直至分水比值增至一定程度时,河道的绝对淤积量才又减少。如果河道处于冲刷状态时,分水的结果,河道就会

图1 黄河下游洪峰平均疏浚与排沙能力的关系

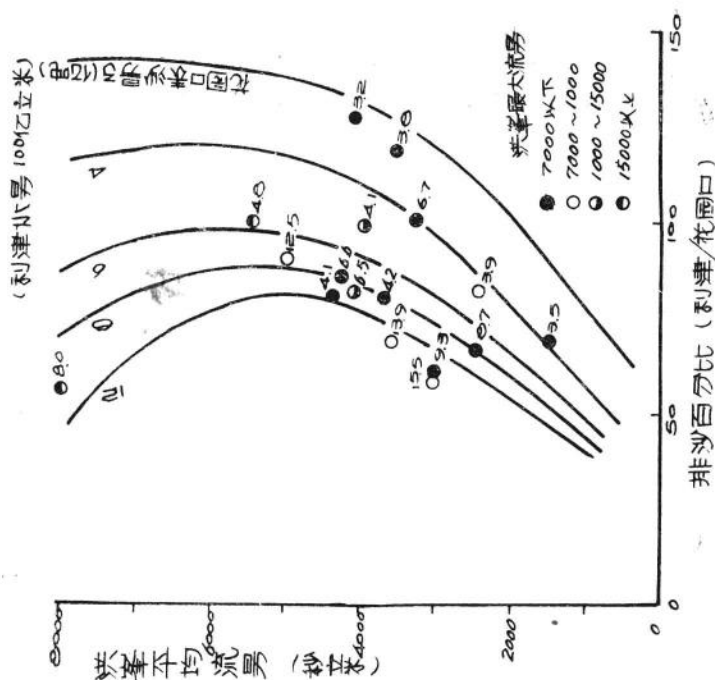


表1 不同洪峰黄河下游排沙能力对比

时 间		1958年7月15日~25日, 共11天		1959年8月18日~9月4日, 共18天		
流量变幅(秒立米)		2070~22300, 平均流量7940		2660~9480, 平均流量4960		
站 名	水 量 (亿立米)	输沙量(亿吨)		水 量 (亿立米)	输沙量(亿吨)	
		全部泥沙	造床质		全部泥沙	造床质
三 门 峡	45.5	5.76	2.18	74.3	10.0	3.78
花 园 口	75.5	5.66	1.78	77.2	8.86	3.05
夹 河 滩	75.1	5.96	1.94	77.1	9.28	3.24
高 村	72.4	3.39	1.83	69.9	7.84	2.85
孙 口	69.5	3.05	1.04	71.5	7.19	2.45
艾 山	73.1	2.55	0.72	67.4	6.81	2.09
利 津	70.5	3.09	0.85	70.5	6.98	2.00
排 沙	利津/三门峡	54	39		68	53
百分比	利津/花园口	55	48		79	66

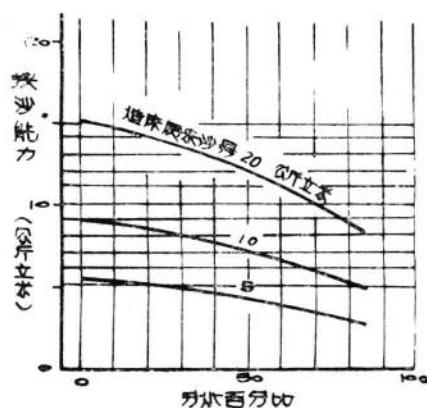
注: 时间、流量变幅、平均流量均为花园口站。

由冲刷转为淤积（或使冲刷量减少），冲刷量再也不会比分水前大。上述几种情况的计算分析如图 2 所示。顺便指出，黄河下游实测资料分析结果，亦与上述结果吻合。

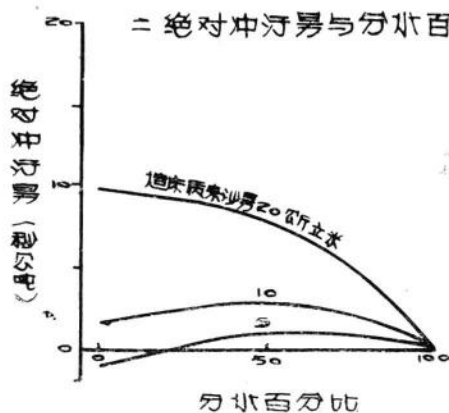
（四）、汛期多排，非汛期少排；细沙多排，粗沙少排

三门峡水库修建以前，黄河下游河道多年平均的排沙情况列如表 2。由表可知，每年汛

图 2 排沙能力与分水百分比的关系



二 绝对冲刷量与分水百分比的关系



三. 相对冲淤率与分沙百分比的关系

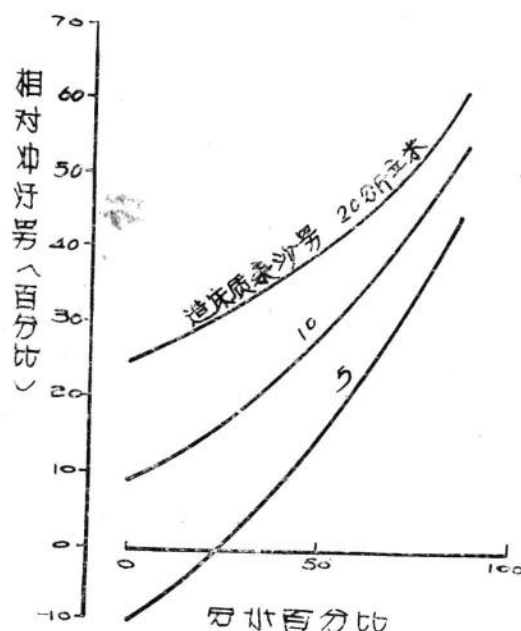


表2 1950年1月至1958年12月年平均黄河下游的排沙情况

单位: 亿吨

时 间	泥沙类别	三门峡及 伊洛、沁 河来沙量	下游渠道 分出沙量	利 津 输 沙 量		下游河道 冲淤量。
				总 量	占来沙量 百分数	
汛 期	造 床 质	4.66	0.05	3.06	66	+1.55
	非造床质	9.61	0.09	8.24	86	+1.28
	全部泥沙	14.27	0.14	11.30	79	+2.83
非 汛 期	造 床 质	1.54	0.01	0.72	47	+0.81
	非造床质	1.04	0.01	1.26	121	-0.23
	全部泥沙	2.58	0.02	1.98	77	+0.58
全 年	造 床 质	6.20	0.06	3.78	61	+2.36
	非造床质	10.65	0.10	9.50	89	+1.05
	全部泥沙	16.85	0.16	13.28	79	+3.41

期(7—10月)来沙量占全年来沙量的85%,而汛期的排沙量亦占全年排沙量的85%。每年造床质泥沙的排沙量只占来沙量的61%,而非造床质泥沙的排沙量却等于来沙量的89%。利津站的水量汛期为310亿立米,非汛期为191亿立米,亦即汛期的水量为非汛期的1.62倍,但汛

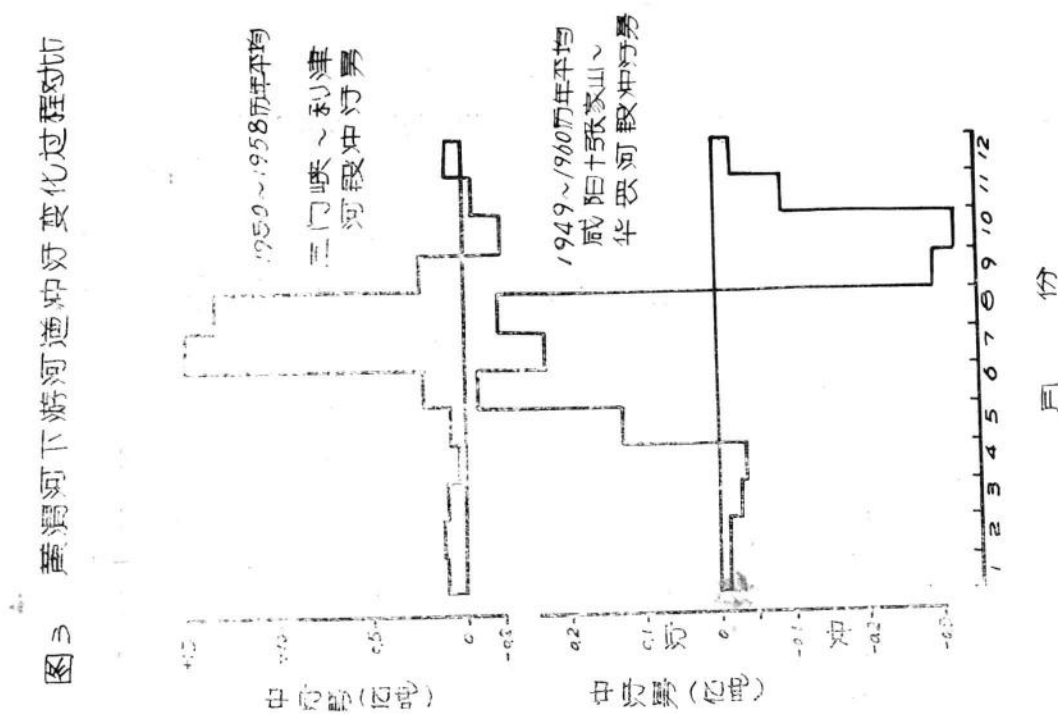
期的输沙量为非汛期的5.7倍（造床质泥沙为4.2倍），可见非汛期由于平均流量很小，同水量下的排沙能力要比汛期小很多。总起来说，从表2可以看出自然情况下黄河下游河道排沙的特点是：汛期排沙能力大，非汛期的排沙能力小，排泄细沙的能力大，排泄粗沙的能力小，大水多排，小水少排，多来多淤多排，少来少淤少排。

（五）、水沙适应多排，水沙不适应少排

1、黄河下游与渭河下游河道输沙特性与冲淤情况的对比

黄河中游支流渭河是一条比黄河含沙量更大的河流，下游华县站多年平均含沙量53.4公斤/立方米，而平均流量却只有249立方米/秒（黄河陕县站多年平均含沙量为37.5公斤/立方米，平均流量为1340立方米/秒）。渭河下游华县站多年平均来沙系数，以总沙量计为0.214，大于0.03毫米的粗沙约为0.065，黄河陕县站多年平均来沙系数，总沙量为0.028，大于0.03毫米的粗沙约为0.01。如果说黄河下游河道淤积的主要矛盾是“水少沙多”，那么渭河下游的水沙矛盾岂不是应该更为突出？但是自然情况下渭河下游的淤积并不严重，长期以来是一条比较稳定的弯曲性河道。究竟这是什么原因造成的呢？它和黄河下游有那些根本性的差别呢？

实测资料指出，渭河下游咸阳至华县河段多年平均的冲淤特点是，每年5月至8月汛期大水时发生淤积，汛后9月起至第二年汛前均呈冲刷（见图3）。汛期淤积时大水槽冲滩



淤，小水淤槽，有时来沙量很大滩地过水很小则滩槽均淤，但每年汛后长时期主槽发生冲刷，因而可以维持较大的滩槽高差，保持主槽的泄洪排沙能力，这对河道的稳定有决定性的影响。黄河下游则是汛期非汛期都发生强烈堆积（仅在汛后10、11月间，由于来沙较少，略有冲刷），特别是汛后主槽的强烈堆积，使滩槽高差迅速减少，但由于汛前的流量很小，

所以河势均较稳定(桃汛期间,一般流量也不大,约3000立方米/秒左右,加以来沙较少且细,所以主槽往往略有冲刷,河势变化不大),汛期第一次涨水,流量亦不很大,河势也无大变化,但汛期第一次涨水所造成的冲淤情况对汛期河道的平面变化有很大的影响,如来沙较少主槽发生冲刷,滩槽高差加大,则有助于河势的稳定。相反,如来沙较多发生淤积,滩槽高差减小,则对水流的约束性减弱,使得汛期大水时河势变化加剧。三门峡水库修建以前,黄河下游河势变化一般在汛期洪峰的落水阶段最为频繁剧烈,这时流量一般在4000~6000秒立方米范围之内、含沙量较大,主槽发生淤积,造成主流摆动。三门峡水库下泄清水后,由于前期河床显著下切,当流量一般保持平滩流量以下时,冲刷以纵深方向发展为主,所以河势得到控制,变化较小。某些河段,由于河身宽浅,水流在横向缺乏约束,随着主流的摆动顶冲,滩岸不断坍塌,在清水下泄初期,河势变化较大,但经过调整以后,河道也就比较稳定。这都说明,造成河道的游荡摆动的因素虽然很多,但主槽的强烈堆积是基本的。

对比黄河下游花园口站与渭河下游华县站的流量、含沙量过程线(图4)看出,任何时刻黄河下游的流量都远较渭河下游为大,但来沙情况却有很大的差别,汛期华县站的含沙量要比花园口站大得多,而非汛期却小得多。表3列举了上述两站的年内水沙分配情况,说明汛期与非汛期两站水量的分配是差不多的,而渭河下游的来沙量却更为集中在汛期。

粗略分析渭河下游来沙的组成情况,看出华县站多年平均造床质泥沙占总沙量的百分之三十左右,亦与花园口站的百分之三十四接近,但同流量下华县站的造床质输沙率要比花园

口为大。初步分析对比两站 $\frac{V^3}{H} \sim Q$ 的关系,也看不出同流量下华县站的水流条件要比花园口

有利。至于黄渭河下游水流挟沙力的机理目前还不清楚。也许远较黄河下游浓度为高的细沙,对渭河下游的水流输沙起着重要作用,但可以认为渭河下游的输沙情况也是多细沙河流多来多排的输沙普遍规律的反映。

2、自然情况下黄河中,下游某些河段的泥沙调节与反调节

在自然情况下黄河中、下游的某些河段,如黄河干流龙门以下,渭河华县以下,汾河河津以下,北洛河状头以下到潼关(因潼关资料不全,采用陕县资料分析)的黄渭汇流区河段,每年汛期淤积汛后冲刷;潼关至东河清(小浪底以下五公里处)河段正好相反,每年汛期冲刷,非汛期淤积(见表4),亦即呈现自然的泥沙调节与反调节现象。多年平均龙、华、河、状至陕县段汛期6~8月淤积1.88亿吨,汛后至第二年汛前9~12月,1~5月冲刷1.68亿吨。汛期大水时淤积下来的较粗泥沙到汛后流量较小时冲刷下泄,使得汛后陕县的来沙量大大增加,并且增加的泥沙都是从河床里冲起的较粗泥沙,更加造成了水沙的不相适应,虽然经陕县至小浪底河段的反调节(陕县至小浪底河段汛期微冲,汛后微淤),但因其量甚小,结果造成了黄河下游河道主槽汛后的严重淤积。显然,这种自然条件造成的泥沙调节,使黄河下游的来沙过程变得极其不利,降低了黄河下游的排沙能力。

3、拦洪排沙水库下游输沙能力的降低

多沙河流上修建的拦洪排沙水库对其下游河道的影响具有双重性。一方面滞蓄洪水,削减洪峰对下游的防洪有重大的意义,同时,由于滞洪过程中洪峰的削减与沙峰的后错,也就降低了下游河道的输沙能力而不利于河道排沙。调节后的水沙过程变得更不适应,这就使得

图4. 黄河花园口站与渭河华县站年内水沙分配对比

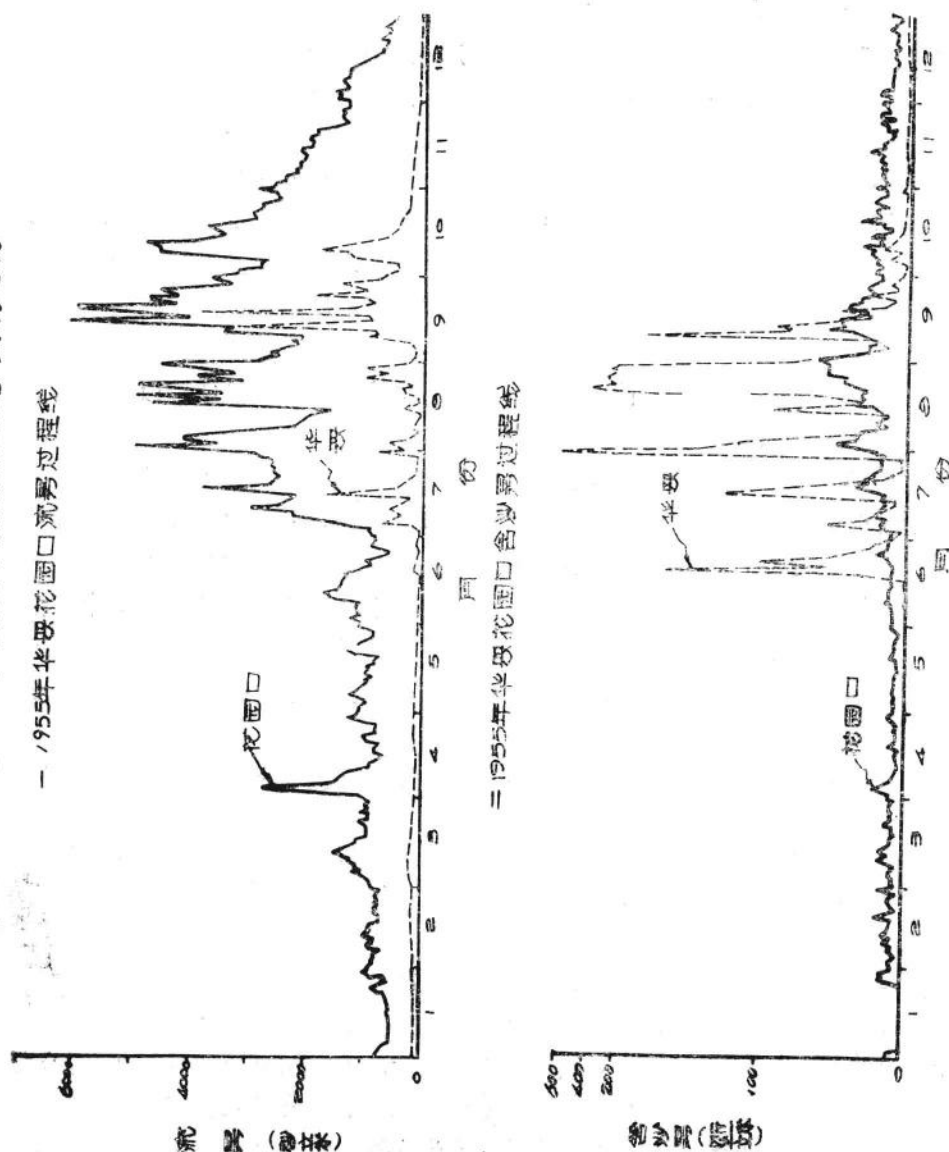


表3 黄河花园口站与渭河华县站年内水沙量分配对比

站 名	水 量 (亿立方米)					沙 量 (亿吨)				
	汛 期		非 汛 期		年 总 量	汛 期		非 汛 期		年 总 量
	总量	占全年 %	总量	占全年 %		总量	占全年 %	总量	占全年 %	
黄河花园口	300.9	61	193.3	39	494.2	12.21	84	2.27	16	14.48
渭 河 华 县	49.3	62.7	29.4	37.3	78.7	3.84	91.4	0.36	8.6	4.20

注：花园口站为1950~1958年平均，华县站为1919~1960年平均。

表 4

1919~1960年(42年)平均龙、华、河、状各月来沙量
与陕县、小浪底输沙量比较

单位: 亿吨

月 份	龙、华、河、 状输沙量 G_1	陕县输沙量 G_2	小浪底输沙量 G_3	$G_1 - G_2$	$G_2 - G_3$
1	0.025	0.119	0.111	-0.094	+0.008
2	0.035	0.142	0.135	-0.107	+0.007
3	0.116	0.262	0.284	-0.146	-0.022
4	0.191	0.275	0.263	-0.084	+0.012
5	0.244	0.315	0.306	-0.071	+0.009
6	0.810	0.779	0.784	+0.031	-0.005
7	4.66	3.54	3.52	+1.12	+0.02
8	6.78	6.05	6.03	+0.73	+0.02
9	2.15	2.56	2.58	-0.41	+0.02
10	0.822	1.19	1.19	-0.368	0
11	0.210	0.482	0.417	-0.272	+0.065
12	0.041	0.165	0.102	-0.124	+0.063

注: “+”号为淤积, “-”号为冲刷

下游河道淤积的年内分配及滩槽分配发生很大变化。由于汛末及汛后水库大量排沙, 下游河道主槽迅速回淤, 滩槽高差减小, 河道的稳定性降低。水库的滞洪作用愈大。则其对下游河道输沙能力的降低也愈大。因此在同样的水量下, 河道就不再能够输送天然水沙条件下所输送的沙量。三门峡水库拦洪, 排沙运用后, 下游河道演变趋势的研究成果指出[2], 由于水库的滞洪作用, 使得进入下游河道的水沙过程比修库前更不适应, 更为恶劣。由于挟沙能力的降低, 即使三门峡水库还将淤积一部分泥沙, 进入下游河道的总沙量比建库前有所减少, 但是下游河道的淤积量仍很大, 非汛期的淤积量一般都为建库前的两倍以上。如三门峡泄水排沙能力增加, 则河道的淤积量甚至会超过建库以前的水平。特别是汛后三门峡水库排沙期间水小沙大, 主槽发生严重淤积使滩槽高差迅速减小, 水流漫滩摆动, 滩槽普遍淤高。河床宽浅散乱, 两岸大堤险工的控制作用亦将减弱, 滩地坍塌后退, 而且易于出现“横河”现象, 变平工为险工, 对黄河下游的防洪排沙极为不利。1964年汛后10月底至1965年5月, 三门峡水库排沙期间, 黄河下游河道的淤积量竟达4.65亿吨之多, 为整个非汛期8个月(11~6月)多年平均值的5.7倍, 也等于历年非汛期最大值1957年1.28亿吨的3.6倍。并且淤积绝大部分集中在主槽之内, 使滩槽高差减少, 只是因为下游河道经过连续几年的清水冲刷, 主槽比较窄深, 才没有引起强烈的游荡摆动(局部河段已出现游荡摆动)。

为了阐明三门峡水库滞洪排沙运用对下游河道输沙的影响, 曾选用1958~1959年(水文年)实测流量及含沙量过程线, 分别计算了三门峡水沙适应关系及洪峰削减对于黄河下游输沙能力的影响(见表5及表6)。可以看出, 随着沙峰落后于水峰天数的增加, 输沙能力不

表 5

水沙峰错开对输沙能力的影响

沙峰落后于水峰(天)	0	4	10	60
输沙能力减少百分数	0	3.3	6	33

表 6

三门峡水库各方案削减洪峰对河道输沙能力的影响

方 案	12深孔	12深孔+3底孔	12深孔+2隧洞	12深孔+2隧洞+3底孔
比自然情况下输沙能力减少百分数	17	6.3	2.6	0.53

注：系用日平均流量进行计算，自然情况下的输沙能力算得偏小，故表中所列数字亦具偏小些。

断减少，当沙峰落后于水峰两个月时，输沙能力的降低三分之一。洪峰削减后，虽也可能使得输沙能力有所减小，但洪峰削减对下游河道输沙的影响要视水流是否漫滩而异，如水流漫滩，则洪峰削减将减少漫滩后滩地流量及历时，或使得水流不再漫滩，这时水流的输沙能力可能反而有所增加，但因减少了滩槽泥沙交换的机会，也就相伴地丧失了滩淤槽冲的条件。从表 5 及表 6 中还可以看出，洪峰削减的影响，不如水沙适应程度显著。顺便指出，对河床演变过程起主要作用的是水沙关系。这都说明来水来沙条件对水流输沙及河道冲淤演变的决定性影响。

综上所述，多沙河流的输沙规律主要表现为：多来多淤多排，少来少淤（或冲刷）少排；大水多排，小水少排；主槽泄水输沙多排，水流漫滩滞洪淤滩少排；水流集中多排，分水分沙少排；汛期多排，非汛期少排；细沙多排，粗沙少排；水沙适应多排，水沙不适应少排。对比黄、渭河下游的河道冲淤演变特性表明，堆积性的河流并不一定游荡，对河道演变类型起决定性作用的是堆积的部位及其发展过程以及堆积物的物质组成，亦即也取决于来水来沙条件。

二、治理黄河的基本思想

黄河是世界上最大的一条多沙河流，要治好黄河，首先必须全面掌握并充分利用黄河本身其它多沙河流的输沙规律及冲淤演变特性。从分析黄河中下游的实测资料出发，我们认为决定河道输沙能力与冲淤演变发展的主要矛盾不是水少沙多、而是水沙过程及其相互关系。因此，一切治黄措施必须不违背多沙河流这个最主要的规律。

（一）、水土保持是治黄的基础，但对水土保持的作用应有恰当的估计

水土保持是治黄的根本性措施之一，也是发展农业生产的主要途径。由于水土保持对河道输沙的影响具有二重性。一方面水土保持可以减少入黄泥沙，但它同时也减少了入黄水量，削低了黄河洪峰，并且治程还可能有沙量恢复。对黄河危害性大的主要是较粗颗粒的泥

沙,所以考虑水土保持措施在治黄中的作用时,既要考虑坡面及沟壑工程上游的拦粗沙效益,也要考虑工程下游粗泥沙的恢复,还要考虑水量减少,洪峰削低对黄河水流输沙的双重影响。至于细颗粒泥沙的减少,对黄河水流输沙的影响孰好孰坏,还有待于进一步的分析研究。有些水土保持措施,如引洪漫地,淤地坝等把整个支沟的水沙全部吞掉,实质上是一种典型的分水分沙措施,而分水分沙的结果虽然总是要降低干流的输沙能力,但对河道绝对冲淤量的影响,则视来沙条件而异。对于粗沙来沙含沙量大的支流来说,分水分沙的结果虽使干流输沙能力降低,但也减少了河道淤积量、而对于粗沙来沙含沙量小的支流来说,在一定的分水比例下,减水减沙的结果反而会增加干流的淤积量(或减少冲刷量)。因而在布局水土保持措施时,必需先控制粗沙含沙量高的支流地区,不然就会事与愿违,得出相反的结果。加以水土保持显著生效时间还较长,而且即便达到最终效果减少入黄泥沙的百分之五十或更多一点,假定水量一点也不减少(事实上水量将有大幅度的减少),黄河依然是世界上第一条多沙大河,黄河的泥沙问题仍然严重。因此,在处理黄河泥沙时,战略上必需以排沙入海为主。考虑到远期黄河流域国民经济发展用水需要,我们觉得长期的治黄方针应是“上拦下排,增水减沙,以排沙入海为主,远期考虑南水北调。”

(二)、调正水沙过程,提高水流输沙能力,改变断面冲淤分布,减少主槽淤积,增加河道稳定性,是治黄工作的核心。

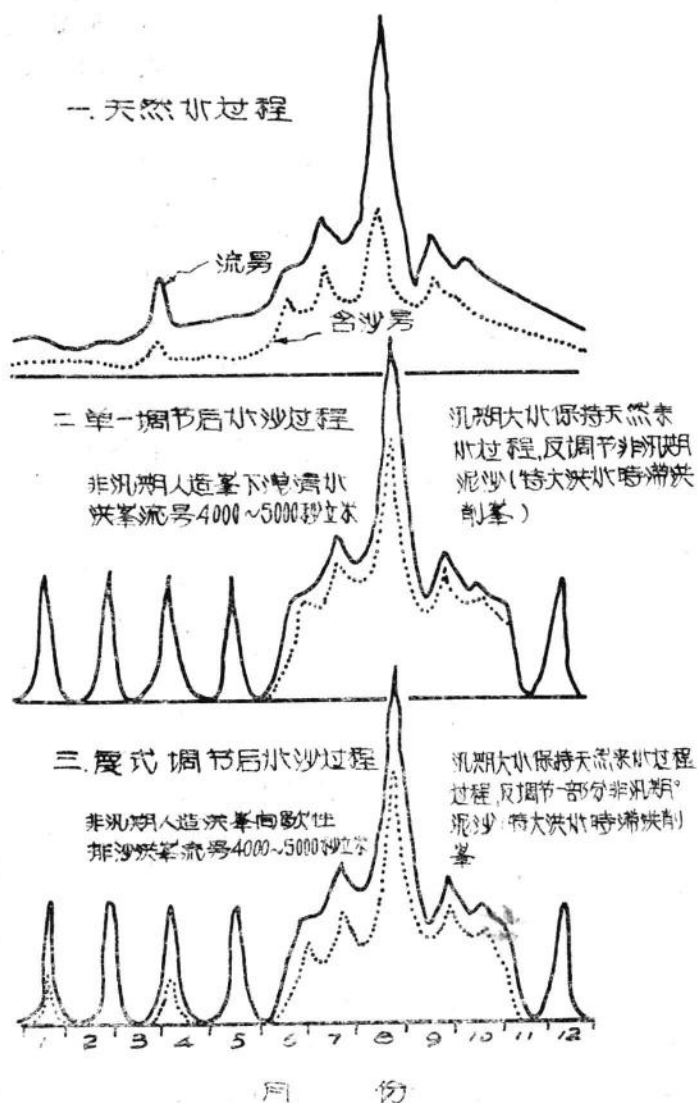
既然黄河泥沙处理要以排沙入海为主,那么能不能增加黄河下游的输沙能力呢?怎样才能增大呢?根据黄河下游,渭河下游等多沙河流的资料分析,我们认为,主要的办法是调整水沙过程,使水沙更适应,水流更不均匀。具体的做法是:修建水沙调节水库,汛后水小沙多沙粗时,拦截上游来沙,蓄水泄放人造洪峰,加大下游河道输沙能力,冲刷下游河道。汛期大水时不改变天然来水过程(只在特大洪水时关闸滞洪削峰,削减下游洪水,但一般机迁很小,都在几十年以上),再把非汛期库内淤积的泥沙冲出,使大水时进入下游河道的来沙量除上游的来沙之外,再加上非汛期暂时淤留下来的一部份泥沙,充分利用汛期流量大,输沙能力大,来沙量大、排沙量大的特性,使更多的泥沙输送入海。同时,由于水沙过程的改变,使下游河道的淤积只发生在汛期大水时(一般大水若不漫滩,则淤在主槽内,如漫滩则可能淤滩刷槽,或滩槽都淤),通过一个非汛期主槽的冲刷,下游河道的滩槽高差有所增加,或保持高滩深槽,从而加大了下游河道主槽的稳定性。这样一来,即便下游河道还将可能发生淤积(强度大大减小),但由于淤积部位及时间过程起了根本变化,淤在汛期大水、淤在滩地,也对下游河道的防洪排沙十分有利,甚至会使得下游宽浅散乱的游荡性河道发生质变,向稳定归顺的河型发展。

1、泥沙反调节对提高黄河下游排沙能力的作用

泥沙反调节的方式很多,可以是年内汛期与非汛期的调节,也可以在多年水文周期内实行系列调节,使枯水丰沙年与丰水枯沙年相调整。可以用一个水库进行单一调节,也可以用两个以上的水库配合调节。如果用一个水库进行调节,则非汛期人造洪峰时只能泄放清水,拦截的泥沙要等到第二年汛期上游来大水时冲出,而不能充分利用非汛期人造洪峰挟带更多的泥沙(由于人造洪峰下泄清水冲刷下游河道,通过河床的自动调整作用使水流挟沙力降低)。而两个库调节时,则可采取轮换蓄水放峰的办法,如首先让下游水库蓄水泄放人造洪峰,蓄水时泥沙便淤在库内,为了避免小时溯源冲刷把泥沙带到下游河道,则等洪峰泄

放以后就控制起来，用上游水库蓄水泄放人造洪峰，当上游水库放峰时再利用洪水把下游水库前期淤积的泥沙冲出，使洪水挟带泥沙下泄，然后再利用下游的水库蓄水放峰，这时上游水库所淤积的泥沙通过溯源冲刷带到下游水库，等到上游水库蓄水放峰时再冲走，这样反复运用上，下游水库达到人造洪峰中有半数洪峰挟带泥沙运行，更充分利用水库的挟沙能力，使更多的泥沙输送入海（见图5所示）。

图5 黄河水沙过程调节示意图



曾对小浪底水库反调节泥沙运用的效果进行了两个方案的计算[3]，即三门峡水库泄洪排沙能力增加（12深孔+2隧洞+3底孔），全年不控制方案及现状不控制运用方案经反调节后的下游河道输沙情况（按黄河下游河床变形计算方法详细进行计算），该方法

见^[1])。图 6 为现状方案 1955~1956 年典型年小浪底反调节前后的水沙过程。可以看出，

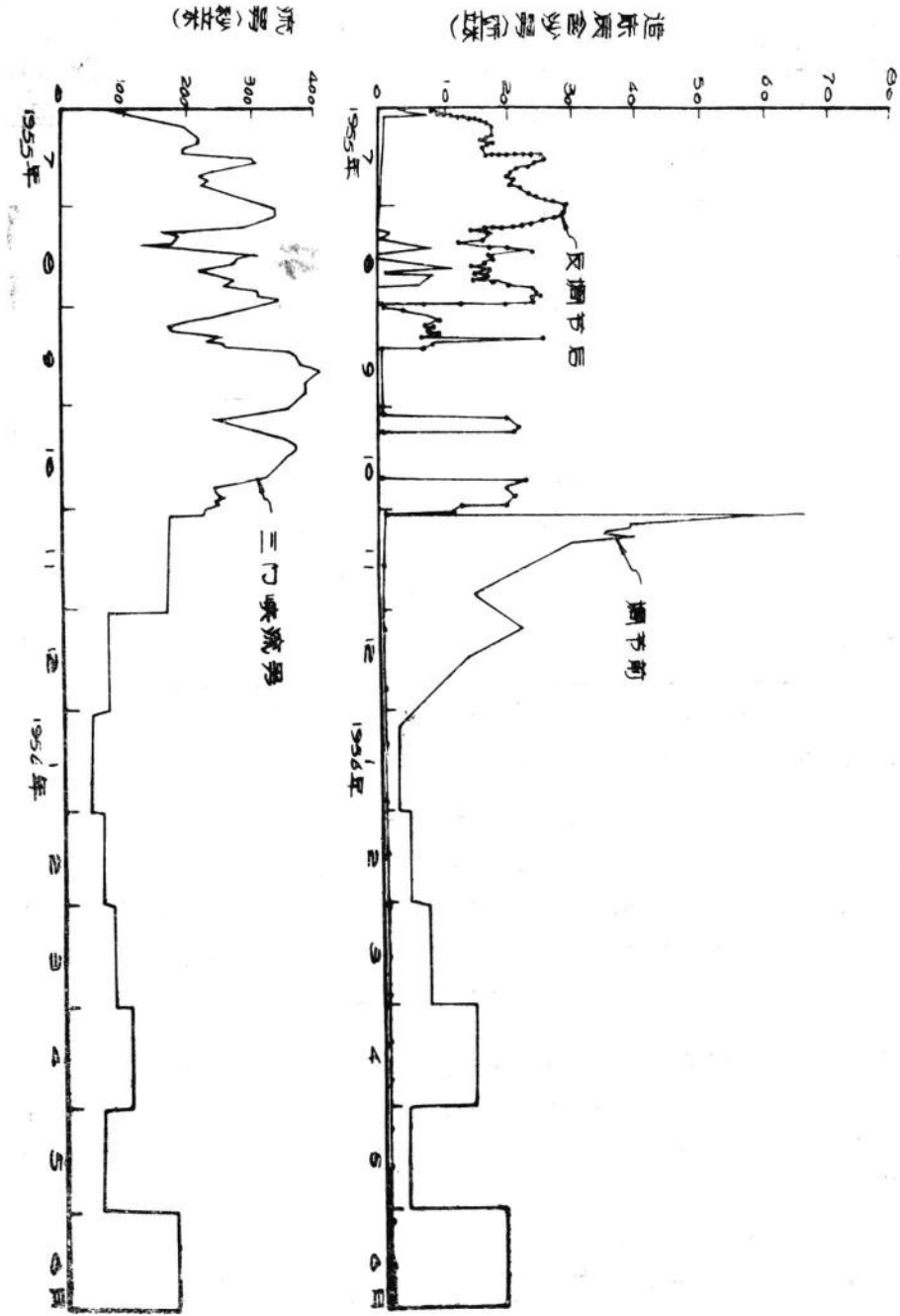


图 6 现状方案 1955~1956 典型年反调节前后水沙过程

经过小浪底水库反调节后，汛期进入下游河道的水沙过程基本上是适应的，从 9 月开始到 10 月底，由于小浪底库内前期淤积的泥沙已全部冲走，只是三门峡下泄的泥沙穿流而过，反调节前后也就没有差别。这种情况说明，简单地从每年汛初 7 月 1 日畅开闸门运用不加控制的调沙是不完全合理的，应更进一步根据流量过程来调配泥沙，使泥沙在大水时冲出，其输沙

效果才更好。表 7 说明1953.7~1960.6七年系列、三门峡现状经小浪底水库反调节后,平均每年汛期四个月,造床质泥沙的排沙量比反调节前全年的排沙量还增加了0.25亿吨。反调节前,因为汛后集中排沙,高村以上河道的主槽抬高十分迅速,滩槽高差不断减少,加多了水流漫滩和摆动机会,使非造床泥沙大量淤积在滩地上;反调节后,非汛期由淤转冲,滩槽高差增大,河槽比较稳定,所以滩地上非造床质泥沙的淤积量也有所减少,根据分析,平均每年现状方案比反调节前可减少0.1~0.2亿吨。

表 7 1953.7~1960.6七年系列年平均现状方案反调节
前后下游河道造床质输沙量比较 单位: 亿吨

	反 调 节 前			反 调 节 后		
	汛 期	非汛期	全 年	汛 期	非汛期	全 年
下游河道来沙量	1.66	3.04	4.70	4.7	0	4.70
利 津 输 沙 量	2.57	0.79	3.36	3.61	1.1	4.71
下游河道淤积量	-0.91	+2.25	+1.34	+1.09	-1.1	-0.01
排沙占来沙百分比	155	26	71.7	77.1		100

注: 1、下游河道来沙量中反调节前为三门峡下游沙量,反调节后为小浪底下浅沙量
2、反调节后非汛期按人造洪峰运用计算

反调节后,非汛期8个月介游河道的冲刷量,取决于水库的运用方式(见表8)。如8个月径流发电,则平均每年可冲刷0.83亿吨,冲刷发展距离一般只到夹河滩、高村。如泄放人造洪峰冲刷下游河道,则当洪峰流量不小于4000秒立米,每次洪峰的洪量不小于12~21亿立米时,平均每年可冲刷泥沙2亿多吨,冲刷范围可遍及全河。如发电期间结合泄放若干次人造洪峰,则冲刷量介于两者之间,可见效果都是相当显著的。

表 8 非汛期多年平均情况下小浪底水库不全运用方式
黄河下游河道冲刷量比较 单位: 亿吨

运 用 方 式		下游河道冲刷量	利津输沙量
人造洪峰	一次洪量12亿立米	-2.2	2.2
	一次洪量16亿立米	-2.4	2.4
	一次洪量21亿立米	-2.6	2.6
8个月径流发电		-0.83	0.83
三门峡修库前		+0.58	1.98

注: 非汛期三门峡修库前按1950~1958年平均计。