

黄河沿岸风成沙入黄沙量估算*

杨根生 刘阳宣 史培军

(中国科学院兰州沙漠研究所)(北京师范大学地理系)

黄河是我国第二条大河。近年研究表明,黄河携带的泥沙造成危害的部分主要是粗沙^[1]。我们的研究表明,黄河沿岸(沙坡头—河曲段,以下称黄河风沙段沿岸)风成沙入黄,以及流经风沙区的几条主要支流(无定河、窟野河、皇甫川、浑河等)风沙输入再被流水搬运入黄,是黄河泥沙中粗沙来源的重要组成部分。

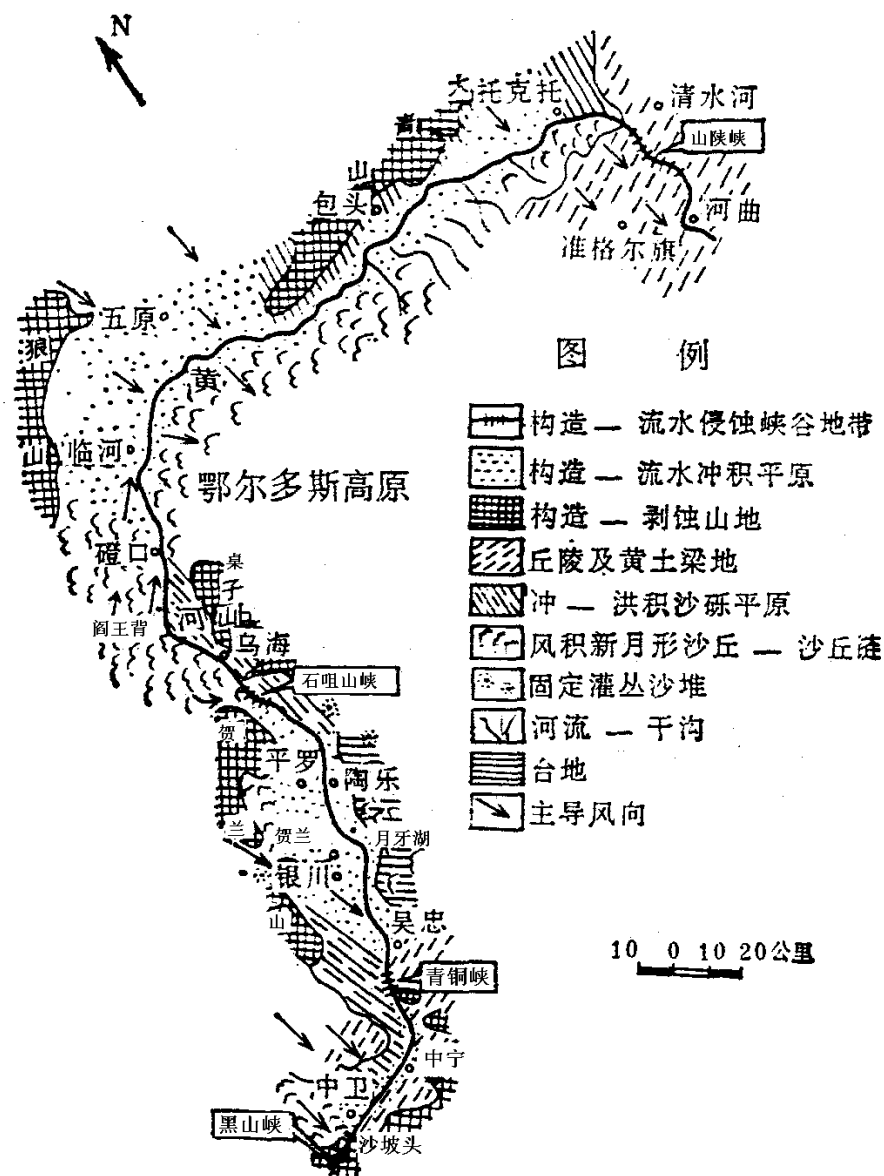


图 1 黄河(沙坡头—河曲段)沿岸风口及地貌类型图

一、黄河风沙段沿岸自然环境特点

黄河流出沙坡头,自西往东转北,再折东向南,绕鄂尔多斯高原边缘的平原和峡谷而

* 中国科学院黄土高原综合科学考察项目

行，到山陕峡谷的河曲，长达 1201.2km，黄河流经的这一段正处在我国北方中温带半湿润向干旱气候的过渡地带。第四纪晚更新世以来就已形成的几大沙漠和沙地直逼黄河风沙段沿岸（见图 1）。这一段自然环境具有如下特点：

1. 降水少且变率大，多年平均年降水量在 135.5—415.2mm 之间，自东向西减少，多年平均降水变率达 26%，年内降水分配也极不均匀。平均 60% 以上的降水量集中在 7、8、9 三个月内，降水常以暴雨形式出现。

2. 风力大且风暴频繁，达到起沙风的时数每年累计达 20—35 天，年平均风速 2.7m/s。年平均大风日数 138 天，变率大，统计标准差为 9.3 天，沙暴日数为 105 天，统计标准差 7.9 天。

3. 地表物质富沙，风、水作用交替，地貌类型多样，风沙地貌广布。黄河风沙段沿岸，在断陷盆地的基础上，发育了典型的冲、洪积平原和冲、湖积平原，这些平原大多被落差较小的峡谷所隔开，形成卫宁平原、银川平原、河套平原和呼包平原。组成这些平原的物质具有富沙性，它为上覆的风成沙丘地貌提供了物质条件。由于境内处于季风气候的边缘地带，夏秋季暴雨径流造成地表冲刷，增加黄河支、干流泥沙；冬春季风力侵蚀增加，加大了地表的侵蚀，直接或间接向黄河输送风成沙。这种冬、夏半年交替的“风水两相”作用，在某种程度上，造成的地表侵蚀量远远大于东部以流水侵蚀、西部以风力侵蚀为主的地区。由于黄河风沙段沿岸的构造和气候条件的多样性，因而，发育了多样的地貌，但以平原及平原上发育的风沙地貌最为广泛（见图 1），再加上地貌空间配置，形成风口效应，这些正是造成风成沙入黄的主要原因之一。此外，黄河风沙段沿岸植被稀疏，土壤发育不深，土质松散，这都促使沿岸风沙的输入，造成对黄河的危害。

二、风成沙入黄沙量估算

黄河风沙段风成沙入黄沙量是指每年在风力作用下输入黄河的沙量和由于风成沙坍塌入黄沙量的总和。

为了估算风成沙入黄的沙量。我们首先编绘了 1:10 万比例尺风成沙入黄的沙地类型图，并分段、分类型量算出沿岸风成沙入黄的长度（表 1）。野外调查发现，风成沙入黄主要表现为风沙流、沙丘前移及岸边坍塌三种形式，其中沙丘前移亦是风沙流作用的结果^[2]，因此，风成沙入黄归并为风沙流和岸边坍塌两种形式。

1. 以风沙流形式入黄风成沙量的估算，风沙流以其强度表示，大量野外和室内观测表明，风沙流强度与风速超过沙粒开始运动定常起动风速的三次方成正比，即

$$q = a (V - V_t)^3 \quad [2],$$

式中 V_t 为沙粒开始运动的临界风速， V 为实际风速， a 为实测系数。 V_t 和 a 值均与不同地区近地表影响风沙流强度的各种自然地理条件有关。在实际计算时，往往根据野外实测值确定。

黄河风沙段不同的沙地类型的 V_t 和 a 的实测值如表 1 所示。表 1 中 V_t 值为气象站观测高度 1min 的平均风速 (V_t)，它与 10min 平均风速 (V_{10}) 的换算关系，经野外测定的经验式为

$$V_{10} = 1.105 + 0.7V_t,$$

V 值如表 2 所示。它是根据黄河风沙段沿岸风场分析，确定以沙坡头站代表沙坡头段，磴口站代表陶乐段和磴口段，准格尔站代表三盛公—河曲段。由于风沙流的方向与黄河风沙段延伸的方向有不同角度的配置，而这些配置与上、下风区段有很大关系。因此，实际计算时，必须确定对风沙流入黄有害风向的年平均出现频率 (q_i)，以 q_i 值与各计算代表站各级起沙风速持续时数，相乘得到有效风向各级风速持续时数 (d_i)。这样令 q_i 代表某一种沙

表 1 黄河风沙段沿岸风沙流、沙丘前移入黄沙量估算结果

危害段	风段	沙地类型	长度 (km)	V_t (m/s)	a	Q_i (T/a)
-----	----	------	---------	-------------	-----	-------------

沙坡头段	上风段	流动沙丘(地)	11.0	6.7	0.0510	792072.0
	下风段	流动沙地	8.0			358549.5
陶乐段	上风段	流动沙地	12.0	4.0	0.0880	7463199.5
		半固定沙地	15.0			
	下风段	流动沙地	43.4		0.0880	7977136.8
		半固定沙地(堆)	31.6		0.0264	
磴口段	上风段	流动沙丘(地)	30.4	4.0	0.0880	15132803.3
		半固定沙丘(地)	3.0			
	下风段	流动沙地	1.0		0.0880	2662249.5
		半固定沙地及半裸露沙砾地	6.0		0.0460 0.0140	
三盛公一前房子段	上风段	流动沙丘(地)	15.4	5.3	0.0305	3715893.1
		半固定沙堆(地)	39.0			
	下风段	流动沙地	16.0		0.0305	9841813.0
		半固定沙堆(地)	104.0		0.0205	
前房子一河曲段	上风段	流动沙丘	14.0	5.3	0.0300	368207.8
		半固定沙堆	14.6			
合计			364.4			48311924.5

地类型的输沙率，即 $q_j=0.1q_i$ ($T/km^2 \cdot min$)； L_k 代表某种类型的长度 (km)，则各段中每一风段风沙流入黄量 (Q_i) 计算式为：

m 代表各计算区有效风向起沙风级数， n 代表沙地类型数。计算结果见表 1。总风沙流入黄量则为：

n 为计算区段数，计算结果为 $48311924.5T/a$

$$Q_{\text{风}} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad Q_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n d_j q_k L_k$$

以坍塌形式入黄风成沙量的估算。以坍塌形式入黄风成沙量主要取决于坍塌体的长度 (l) 和厚度 (h)，以及年平均坍塌速度 (s, m/a)。我们首先分别计算了各坍塌段长度、相应坍塌体的平均厚度 (表 3)。S 的确定是比较复杂的，它是根据两个时期的航空象片对比量测得到的，即在坍塌段两个时期象片上找出同一相对固定不变的点作为参考点，对比河岸线的变化，在航片上确定出距离，然后转绘在地形图上，以消除投影误差，这就可求出两象片拍摄期间的坍塌速度。各段 l, m, s 值确定之后，可据下公式：

$$Q_{\text{塌}} = r \sum_{j=1}^n m_j h_j l_j$$

计算总的坍塌段风沙入黄量 ($Q_{\text{塌}}, T/a$)，式中 m_j, h_j, l_j 分别代表每一段的坍塌速度 (m/a)，坍塌体厚度 (m) 及长度 (m)， r 代表容重，取其平均值为 1.6， n 代表坍塌段数，计算结果见表 3。

综上所述，黄河风沙段，以风沙流和坍塌两种方式入黄的风成沙总量估算值为 $53211364.5T/a$ 。

三、讨论

1. 我们的估算虽然是初次进行，有待进一步深入，但是，文中估算的直接输入黄河风沙段的风成沙量，再加上发源和流经风沙区的几条大支流 5000 多万 T/a 入黄沙量，每年大约有 1 亿多吨风成沙输入黄河干支流。足见其值可观，我们认为它是黄河泥沙中粗沙源的重要组成部分，当然也应指出，输入的以粗沙为主体的风成沙，部分会沉积在风沙段的黄河河床中，究竟有多少排泄到黄河下游造成危害，还应进一步深入研究。

表 2 黄河风沙段典型地区各级起沙风持续时间统计表

持续时间 (min) 风速(m/s)	站 名	沙坡头	磴口	准格尔
4			66080	
5			64120	12570
6		21110	36110	7730
7		13560	26390	5400
8		7600	16210	2590
9		5190	8660	1010
10		2760	9430	460
11		1520	2780	140
12		600	2960	110
13		330	1770	40
14		250	1000	50
15		100	1590	30
16		90	370	10
17		30	170	
18			240	
19			70	
20			310	
21			30	
22			10	
27			10	

表 3 黄河风沙段沿岸坍塌入黄风成沙量估算结果

测值 项目 坍塌值	坍塌长度 (m)	坍塌体厚度 (m)	坍塌速度 (m/a)	入黄沙量 (T)
陶乐-红墩子	12000	3.0	7.15	411840
陶乐-月牙湖	13000	2.5	20.10	1045200
陶乐苦井-红旗乡	10000	6.5	20.70	2152800
磴口段	50000	1.0	16.12	1289600
合计				4899440

2. 风沙危害着黄河及其主要支流应引起有关部门的高度重视。野外观测表明,黄河风沙段风沙的危害具有明显的时间性、方向性和区域性,即风成沙以风沙流的方式入黄主要集中于冬春两季,而坍塌主要集中于洪水期间;有害风向主要为偏西风;区域性主要取决于沿岸松散且富沙的风成沙、沙质黄土及河湖相沉积物等物源的差异。有鉴于此,对不同的危害类型,必须采取相应的措施。(1)潜在危害地段,要加强对植被和土被的保护,控制由于人为活动的诱导起沙;(2)轻度危害地段,应彻底调整土地利用结构,再适当地辅以人工措施,着眼于减轻土地承载力,使地力得以自然恢复,从而提高植被盖度和地被稳定度,减低风沙流的强度;(3)中度危害地区,要建立生物—工程措施相结合的多类型的河岸防护体系,减弱风力,控制风沙流强度;(4)沙丘紧逼河岸的严重危害地段,要重点进行人工治理,因害设防,因所处自然地带选择具体措施,减弱风沙流强度,阻挡沙丘前移,从而控制风沙流入黄河。

致谢:参加此项工作的还有温向乐、甄计国、庄保仁同志,本文在修改过程中得到中国科学院学部委员周廷儒、施雅风教授的指导,彭启龙同志帮助绘制图件,在此一并深表谢意。

参考文献

- [1]钱宁、王可钦、阎林德、府仁寿,黄河研究的理论与实践,水利出版社,1986,27。
 [2]R. A. 拜格诺,风沙和荒漠沙丘物理学(中译本),科学出版社,1959。
 [3]朱震达、吴正、刘恕、邱醒民,中国沙漠概论(修订版),科学出版社,1980。