

# 引海水冲刷河口治理黄河下游

林秉南<sup>1</sup>, 周建军<sup>2</sup>, 张仁<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

**[摘要]** 提出引海水  $500 \sim 1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$  在利津注入黄河冲刷河口。冲刷后, 在利津将产生  $3.3 \sim 7.9 \text{ m}$  的水面落差, 可制止黄河河口延伸的溯源淤积作用上延, 并诱发其上游产生溯源冲刷。估计可使艾山以下河道得到冲深。因挟沙海水的密度大于渤海环境水体的密度, 咸浑水进入渤海时可形成异重流, 将泥沙输去远方; 而且断流期间河口还可能蚀退; 因此引海水流量足够时, 可使河口不外延或外延缓慢。从长远看, 河口侵蚀基准面得到降低后, 可以使黄河下游的淤积面均得到降低。这对缓解黄河下游河道持续淤高的局面和减少河口改道的风险都是有利的。

黄河下游额定冲沙水占黄河水资源总量很大比例, 大量抽取淡水会增加下游的淤积。引海水冲刷河口, 可以增加河口地区从黄河抽取淡水的数量。这样抽取的淡水是冲沙水的一部分, 不受水分分配额度的限制, 对河口地区的发展具有重要意义。引海水冲刷口门段, 可向渤海注入大量咸浑水、有利于改进渤海的环境生态条件。当然, 引海水冲刷时须解决河道和引海水渠道的咸水外渗问题。

**[关键词]** 引海水冲刷; 黄河下游; 悬河; 水资源利用

## 1 概论

黄河自花园口至河口常称为下游。自古以来历经多次大改道。每次改道后, 随着堤防的建成, 泛滥受到限制, 最终下游都演变成地上河。这主要是由于流域来沙多和尾间注入的黄海或渤海都是弱潮海域所致。

上游如大量来沙, 到了平原地区, 由于河道原坡降不足以将上游来沙全部输向下游, 一部分泥沙将在河道淤积, 使河床坡降逐渐增大; 其余部分则将被输送到河口, 在口外淤积, 口门因此外延。由此触发溯源淤积, 向上游传播。溯源淤积影响所及, 河床坡降减少。由此又导致更多的泥沙在河床落淤、使河床进一步抬升<sup>[1]\*</sup>。为了得到一个粗略的概念, 可作一个简化的说明。假定相对于某一口门位置, 全河道内已形成了平衡剖面; 在此基础上

口门外延了  $30 \text{ km}$  后全河道内再次形成了平衡剖面, 则两个平衡剖面必然互相平行、而后者高于前者。尹学良曾给出黄河口至陶城埠的平衡坡降为  $1.8/10\,000$ <sup>[2]</sup>。按此计算, 新平衡剖面将比原平衡剖面高出  $5.4 \text{ m}$ 。从整个下游河道的防洪来看, 不难体会这是一个灾难性的数字。即使尹的平衡坡降数字偏高, 按  $1.2/10\,000$  计算平衡坡降, 也高出  $3.6 \text{ m}$ , 也是一个可怕的数字。当然, 一如上文已说明的, 实际在河口不断外延的条件下, 上游河床的抬升同时受上游来沙的沿程淤积和来自下游的溯源淤积的影响, 相当复杂, 对之需要作更详细的分析。但简化算例足以说明口门外延的影响不容忽视。所以治理悬河, 诚如许多专家已提出的, 首先必须设法减少河道的输沙量; 同时也需要保持一定的冲沙水量。其次, 笔者认为还需要对口门的淤积延伸进行控制。通过在河口段注入海水可遏制或减

[收稿日期] 2000-02-24

[作者简介] 林秉南 (1920-), 男, 福建莆田人, 中国科学院院士, 中国水利水电科学研究院教授

\* 谢鉴衡. 河流动力学理论与实践问题. 黄河水利学校讲义, 1988

缓口门的外延，增加河流的挟沙能力，减少注入点以下的河道平衡坡降，在注入点形成水面跌差；从而将口门的有效位置移至海水注入点附近。这项措施实质上是使海水注入点成为未来平衡剖面的起点，从而使平衡剖面下降，有利于整个下游河道的减淤。

引海水冲刷黄河口<sup>[3]</sup>，在海水注入点形成较大的水面跌差后，一方面截断来自河口的溯源淤积，同时又引起溯源冲刷，加大上游河道的坡降，使之不再抬升，免却为河道不断加高堤防的困扰。这些都有利于配合小浪底工程的防洪运用。除此之

外，引海水冲刷河口，还提供了从黄河配额冲沙水中大量回收淡水的可能。原来大量回收淡水的主要障碍是增加河道淤积，采用引海水冲刷方案后，可用注入的海水加强其下游输沙能力，清除淤积。引海水冲刷后，每年将增加上百亿立方米的咸浑水入海，而且长年不断。有利于缓解黄河断流后渤海中出现的生态、环境问题。但是，引海水冲刷河道也带来一些不利的环境问题。主要是海水渗透引起的盐碱化问题。应该研究相应的对策，防止不利的环境影响。

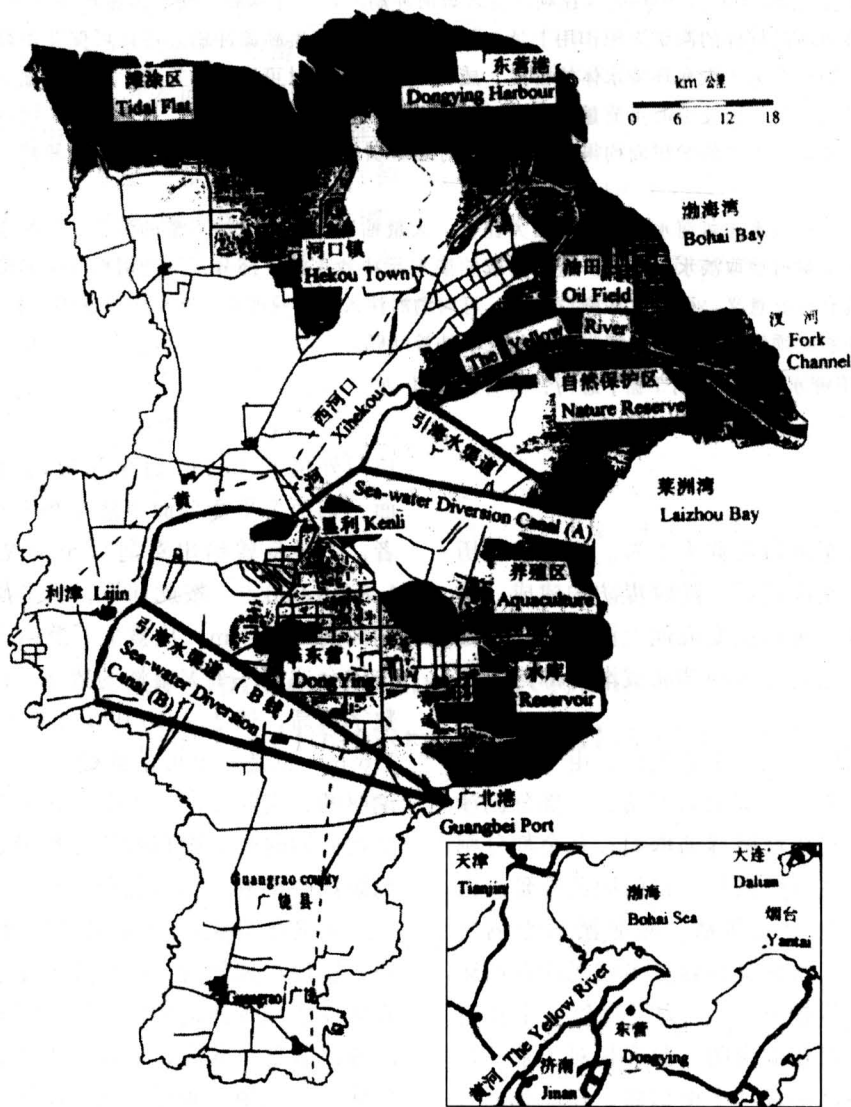


图 1 黄河河口地区及引海水线路示意

Fig.1 Yellow River Estuary and schematic routes of seawater diversion canals

本文报道了在引海水冲刷下游河道方面取得的一些研究成果。目的是说明这是一个值得进一步研究的方向。还有许多问题需要进一步开展深入的研究加以解决。然后才可能进入可行性研究阶段。

## 2 引海水冲刷河口方案的运用方式

现阶段选图1中(B)线的上游点,在利津附近注入海水。以后应对海水注入点的位置作优选,原则上将注入点移向上游和加大引海水流量都会带来许多好处。

初步拟定的运行方式为:1)在黄河枯水期和中小汛期时,充分利用海水泵站容量和平原水库抽取淡水,同时在其下游注入海水冲刷河口。2)在大汛期当洪水流量大于 $2\ 000\sim 3\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,不断注入海水以确保利津以下河道流量不小于 $3\ 500\sim 4\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ ,以减少淤积。

## 3 引海水冲刷的计算方案

作为研究方案,本文取海水流量的规模为 $500\sim 1\ 500\text{ m}^3/\text{s}$ ,建议流量全部引自莱洲湾的广利港。将来也可以考虑有一部分引自北岸的适当地点。引水渠道可根据地形及地面坡降设计成若干级,分级抽水,以便在总水头基本不变的条件下优化渠道设计。大流量方案可以直接将海水注入黄河,增加冲刷效果,也便于黄河下游抽取淡水;小流量方案的渠道工程量小,但需要建海水水库,间歇放水冲刷河道。由于大流量方案直接将海水注入黄河,水头相对更小,所以,大流量方案的维持费用不一定远高于小流量方案。而且,直接注入方案可以避免海水水库的咸水外渗问题。

下文将计算研究的四个方案分别称为方案A、B、C和D。方案A抽海水 $500\text{ m}^3/\text{s}$ ,先在利津附近存入水库,海水水库面积为 $20\text{ km}^2$ ;然后再以不恒定方式间歇注入河道冲沙<sup>[3]</sup>。方案B在左右两岸分别抽海水 $500\text{ m}^3/\text{s}$ ,在利津附近及其下游 $20\text{ km}$ 处存入水库,水库面积均为 $20\text{ km}^2$ ;冲沙海水分别从利津和下游水库间歇注入。方案C海水泵装机 $2\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ ,枯水期引海水流量 $1\ 500\text{ m}^3/\text{s}$ ,在利津附近直接注入黄河,按恒定流冲沙; $500\text{ m}^3/\text{s}$ 装机用于回收淡水,汛期在洪水基础上加海水 $2\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 增加河道输沙能力。方案D引海水 $1\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ ,直接注入黄河利津附近,按恒定流冲沙。方案C和D不需要建海水水库。各方案的其

它计算条件见文献[3]。

## 4 计算结果综述

计算应用了文献[4]给出的浑水不恒定流数学模型。主要结果如下:

1)各方案的河槽冲刷过程及平衡后的总冲刷量见表1及图2。其中流量较大的方案冲刷效果最好。方案D的冲刷效果虽然不及,但是,在5年的时间内可以达到冲刷平衡,河口 $110\text{ km}$ 范围内冲刷量也有 $2\text{ 亿 m}^3$ ,效果也非常显著。

表1 各计算方案冲刷效果

Table 1 Scoured volume of sediment corresponding to different schemes

	方案A	方案B	方案C	方案D	
冲刷平衡时间/a	7	4	5	5~7	
平衡时总冲刷量/亿 $\text{m}^3$	汛前	1.6	3.6	3.9	2.2
	汛末	1.2	3.0	3.4	1.8
年内冲淤幅度/亿 $\text{m}^3$	0.4	0.6	0.5	0.4	

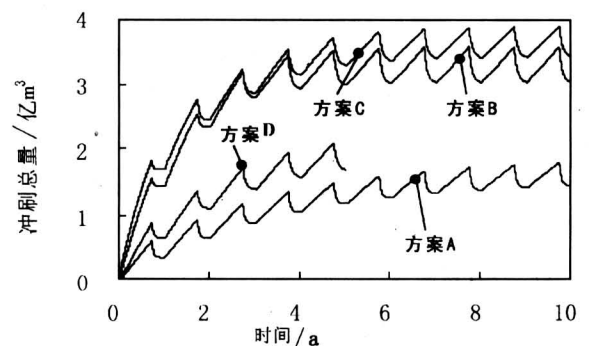


图2 各计算方案在利津以下产生的河槽冲刷体积随时间变化过程

Fig.2 Volume of scoured sediment corresponding to different schemes of flushing with seawater

2)黄河利津处河床现在高程为 $12\text{ m}$ ,当出现 $3\ 000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时,洪水水位原约为 $16\text{ m}$ (数学模型计算值,由于计算采用概化河道断面<sup>[3]</sup>,水位和实际值有一定差距)。经海水冲刷后,在利津河床下切,水面出现跌差。在达到初步冲刷平衡时,各方案的跌差值及相应的河床高程如表2。各方案的具体情况参阅图3~4。

表 2 各方案冲刷平衡后，利津的水面跌差、河床高程及水面坡降

Table 2 Drop in water surface, bed elevation and slope of the river at Lijin after erosion

方 案	汛初 (地形) 水面跌差/m	汛末 (地形) 水面跌差/m	汛末河床高程/m	汛末利津以下平均河床坡降 1/10 000
方案 A	4.4	3.3	8.1	0.83
方案 B	8.4	6.7	4.7	0.61
方案 C	9.6	7.9	3.9	0.52
方案 D	5.5	3.5	8.3	0.84

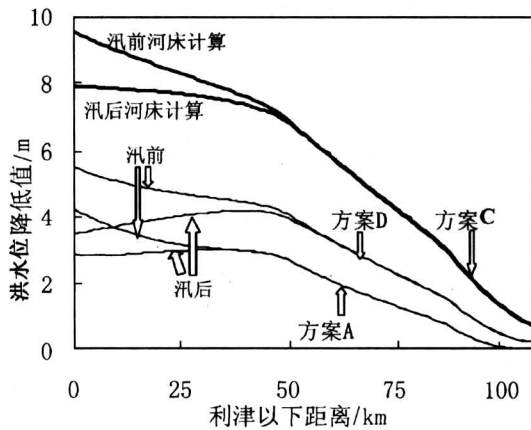


图 3 各方案冲刷平衡后 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量洪水的水位降低值

Fig.3 Stage reduction of 3 000 m<sup>3</sup>/s flood after scouring

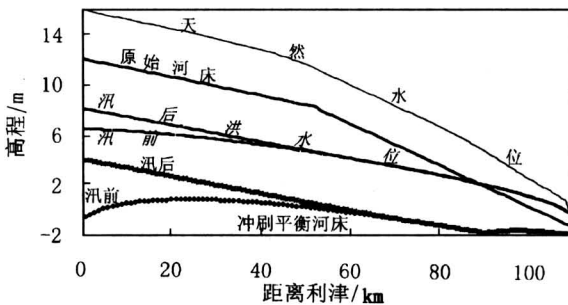


图 4 方案 C 冲刷 10 年后的河床高程及 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量洪水水面线

Fig.4 Flood stages for 3 000 m<sup>3</sup>/s after scouring for 10 years in plan-C

3) 针对冲沙效果最好的方案 C, 假定利津以下河道冲沙 10 年, 河床大量降低后 (如图 4 所示), 遇到设计流量 10 000 m<sup>3</sup>/s 的洪水, 洪水水面线将大大降低 (图 5), 10 000 m<sup>3</sup>/s 流量的洪水水位甚至低于现在 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量洪水水位。引海水

冲沙后, 黄河河口地区的行洪能力大为提高, 可以大大降低河口出现大洪水期改道的风险。

4) 在方案 C 中, 冲刷作用一直持续到河口, 口门冲深 0.75 m (图 4)。冲沙海水流量加大对于增加河口冲刷, 控制河道外延是有益的。

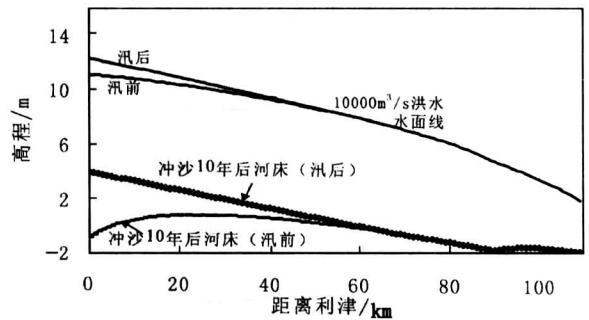


图 5 方案 C 冲刷 10 后遇 10 000 m<sup>3</sup>/s 洪水的水面线

Fig.5 Flood stages for discharge 10 000 m<sup>3</sup>/s after scouring for 10 years in plan-C

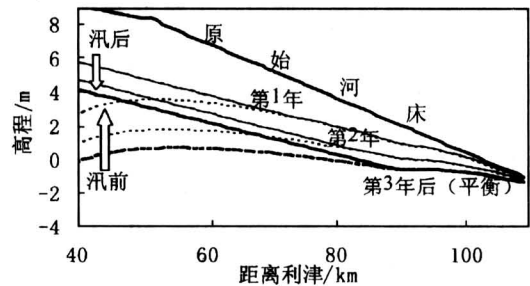


图 6 海水在西河口注入

(流量 = 1 000 m<sup>3</sup>/s) 的冲刷效果

Fig.6 The scouring of river bed with seawater of 1 000 m<sup>3</sup>/s discharge injected at Xihekou 40 km lower from Lijin

根据以上计算结果, 笔者认为采用方案 C 或 D 比较合适。方案 C 通常引海水流量 1 500 m<sup>3</sup>/s, 泵

站和引水渠道工程投资较大,但冲沙效果显著,而且不需要水库配合。方案D引海水 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,流量相对不大,渠道工程量较小。虽然方案D冲沙效果差些,但作为初期方案是非常适合的。特别是考虑到其环境影响范围小,可首先采用方案D(而且将注入点下移到距离利津 $40\text{ km}$ 的西河口附近)。图6是方案D在西河口注入海水的冲刷计算结果。平衡时,西河以下冲刷量达到 $1.4\text{ 亿 m}^3$ 。因河道相对较短,仅需3年时间就可达到冲刷平衡,同时在西河口附近河床的降低程度达到 $5\text{ m}$ 以上,西河口以下的平均河床比降由原来的 $1.4/10\,000$ 下降到 $0.74/10\,000$ 。初期方案的引海水渠道可以采用图1中的(A)线,渠道长度不足 $30\text{ km}$ 。待初期方案运行证明确实有效后,再考虑更大规模的工程(方案C),以扩大海水冲刷河口对黄河下游的作用。以上方案各有利弊,如何采用需进一步优化。下文暂按方案C讨论,计算中的海水注入点仍取在利津。

## 5 海水冲刷对下游河道的减淤作用

以上综述表明,引用海水冲刷后,在不同方案中,发生 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 洪水时,汛初利津将出现 $4.4\sim 9.6\text{ m}$ 的水面降落,汛末水面落差仍达 $3.3\sim 7.9\text{ m}$ ;而且,利津以下汛末的冲刷平衡坡降仅为 $0.52\sim 0.84/10\,000$ 。由此可引伸出以下推断:

1) 由于河口延伸而引起的溯源淤积受利津水面跌差的限制,传到利津后即不能继续向上游传播。这种情况要持续到水面跌差消失为止。由于利津以下的平衡坡降已因海水冲刷而调平,河口外延 $10\text{ km}$ ,利津河床也只上升约 $0.52\text{ m}$ (方案C),而原来要上升 $1\text{ m}$ 以上。即使以后黄河尾间外延的速度没有得到控制,也可大大缓解利津水位的上升。而且,当海水冲刷河槽时,咸浑水的比重大于渤海湾中含沙量较小的海水。这种咸浑水流入海域后,较易形成异重流<sup>[5]</sup>。在天然条件下,黄河口周围的海水盐度达 $2\sim 3\%$ ,黄河淡浑水的泥沙浓度必须达到 $32\sim 48\text{ kg/m}^3$ 以上才有可能形成异重流,而黄河口汛期的平均泥沙浓度不足 $30\text{ kg/m}^3$ ,这是河口泥沙淤塞口门的重要原因之一。即使这样,据李殿魁\*报道,黄河淡浑水出河口后,在口外也已发现“异重流多发”的现象。所以,咸浑水进入渤海后形成异重流的可能性应是较大的。据该报道,淡浑水流出河口时,并非立即扩散,而是形

成一条浑浊带,其前缘在河口外 $5\sim 6\text{ km}$ 处,已初步突入 $8\sim 12\text{ m}$ 水深区。如果由于异重流的作用,浑水还可进一步前进,进入存在中心位于 $10\text{ m}$ 等深线附近的强潮流区,潮流的作用将加强泥沙掺混和输移。近年由于黄河口沙咀突入渤海海域,引起局部流态变化,加强了潮流对泥沙的掺混和输移作用,使更多的泥沙得以进入远区。咸浑水进入渤海,形成异重流的可能性更大,更加有利于利用强潮流的输沙作用。其结果是有更多泥沙被潮流带去远方,使河口延伸减缓。如所引用的海水流量较大,则河口还可能被冲深扩大。在方案C中,河口即冲深了 $0.75\text{ m}$ ,这也有助于延缓河口延伸。另外,近年黄河经常断流。总的说断流不是好事,但断流对引海水冲刷却有其有利的一面。在断流时,上游无泥沙补给,在海水“清水”冲刷下,河口将出现蚀退。这样,即使汛期河口略有外延,汛后,特别是断流时,河口蚀退加强,也有利于减缓河口外延。当然,在长过程中河口究竟是进还是退,决定于所引海水的流量、渤海潮流、断流期的长短及汛期的输沙量大小等因素。但可以肯定,鉴于存在着上述与作用相反的各种因素,再加上咸浑水可能形成异重流,使河口外浑浊带外移,缓解口门外延是可能的。过去利津以下河道在冲积扇面上摆动,河道时短时长,平均变化不大。今后如要维持清水沟水道,则口门延伸便比较重要了。限制溯源淤积和缓解河口外延,可以使黄河下游趋向于稳定。

2) 在方案C中,利津汛末水面落差为 $7.9\text{ m}$ 。虽然,在海水冲刷下黄河口门外延将大为减缓,但在下文分析中仍预留约 $1.0\text{ m}$ 作为口门外延约 $20\text{ km}$ 的水面抬升值,将利津水面和河床落差都只按 $7.0\text{ m}$ 考虑。由此可近似分析上述跌差在上游引起的溯源冲刷。据尹国康报道<sup>[6]</sup>,1855年黄河在铜瓦厢决口改道时、河床落差约 $6\text{ m}$ 。由此引起强烈的溯源冲刷,其范围远达 $168\text{ km}$ 外的河南武陟县沁河口。据此估计,则从利津起,溯源冲刷约可到达涑口。由于在河南较陡河段中,溯源冲刷的传播距离会短于坡降较缓的下游山东河段。近50年以来,河口地区产生过三次重要的改道,尽管跌差都不大,但溯源冲刷的范围达上游 $150\text{ km}$ <sup>[7]</sup>。1976年黄河口流路于西河口改道走清水沟。改道点上、

\* 李殿魁. 论渤海动力与黄河口治理, 1999.1

下河床落差约 2 m<sup>[6]</sup>，而溯源冲刷的影响却远达距西河口约 177 km 的刘家园。其原因即与河口段坡降较小有关。同时，决口和改道造成的跌差是暂时的，而海水冲刷造成的跌差是可以维持的，在相同的水面跌差条件下，溯源冲刷对山东段的影响范围应更大。尹学良曾给出河口改道产生溯源冲刷传播范围的计算式<sup>[2]</sup>： $L = \Delta h / 0.21 J_0$ ，其中  $L$  是溯源冲刷长度， $\Delta h$  是跌差值， $J_0$  是河道原始坡降。按该式估计，则如在利津形成 7.0 m 的水面和河床跌差，且坡降为 1/10 000，则它所引起的溯源冲刷可远达 330 km，至少可到达艾山（270 km）。

3) 从另一角度看，按利津至艾山间相应于 3 000 m<sup>3</sup>/s 流量的平均水面坡降原为 1/10 000 计，假设引海水冲刷使利津出现水面跌差 7.0 m 后，只有 75% 可以有效用于溯源冲刷，艾山至利津间的坡降可加大至 1.2/10 000；河段平均水位可下降达 2.6 m。黄河善淤的主要原因是来沙太多，而河道的挟沙能力甚小。要改变这一状况，关键在于提高挟沙能力<sup>[1]</sup>。引用海水冲沙，不仅注入了冲沙水源、冲刷其下游的河口，而且也整个黄河下游的泥沙输运注入了能量。随着溯源冲刷而增加山东河段的坡降，降低水位，可以提高河道的挟沙能力。有利于冲深河槽，增大过洪能力。

4) 小浪底工程建成运用后，有人认为将冲河南而淤山东。关于淤山东的说法，还不完全一致。有些计算表明山东河段还可能微冲。但不论在小浪底工程影响下，黄河山东段开始是冲是淤，必有泥沙入海，使口门外延，引起溯源淤积，亦即山东河段终不免发生淤积。如果山东河段淤积，而河南河段冲刷，则将使河南段河道坡降进一步变缓，于游荡型河道向河性较好之单一窄深河型转换是不利的。引海水冲刷后，可使河口外延影响不越过利津，而且艾山以下河道可得到冲深，结合小浪底工程下游的冲刷作用，促使黄河下游河道全面冲刷，向有利的方向转化，控制悬河的进一步发展。

5) 上文已说明引海水冲刷后，黄河口门的有效位置已移至海水注入点（利津）附近。整个黄河下游河道的平衡纵剖面的终点也将以利津附近为终点。这个新的平衡纵剖面将低于以原口门为终点的原平衡纵剖面。差值由式： $\Delta H = L(\Sigma - \sigma) - h$  给出，其中  $\Delta H$  为两平衡纵剖面之间的高差； $L$  为海水注入点至口门的距离，按 110 km 计； $\Sigma$  为黄河口门段相应于平滩流量的平衡纵比降； $\sigma$  为海水注

入点以下相应于同流量的平衡水面比降； $h$  为预留于口门外移而引起的水面上升值（取为 1 m，相当于外延 20 km）。由于黄河河口段目前的河床比降大约为 1/10 000，若海水注入点以下冲刷后的平衡比降达到 0.52/10 000，则通过引海水冲刷，有可能将黄河下游的平衡纵剖面降低 4 m 以上。即使只有 50% 的降低效果得以实现，对减少黄河下游的洪水和改道风险都具有不可忽视的作用。这是很值得注意的。当然，在溯源冲刷的条件下，冲刷降低的河床比降可能会大于淤积平衡河槽的比降，短期内上游不可能降低到这样大的幅度。但是，如果把小浪底下游清水冲刷和今后必要的疏浚作用考虑在内，上述理论上降低的平衡剖面将会有可能得到维持。这对黄河下游是非常重要的。

## 6 回收淡水、改善土地资源和河口地区的经济发展

黄河的水资源近年虽然偏枯，但每年汛期平均仍有约 100 亿 m<sup>3</sup> 冲沙淡水通过利津出海。以前由于要避免加重河道淤积，不能大量抽取这部分淡水。若采用引海水冲沙设想，则到利津便可以适当抽取淡水。如果海水泵的装机规模到 2000 m<sup>3</sup>/s 流量，则可通过渠系切换，部分用于抽取淡水。即使由于抽淡水而增加部分河道泥沙淤积，事后可注入海水予以清除。由于所抽的淡水是冲沙水的一部分，它不受配额限制，每年可抽淡水量主要只受抽水能力和储水能力限制。任美镔院士建议<sup>[8]</sup>在河口三角洲地区建造平原小水库群。如采纳这个建议沿利津以下黄河两岸由上而下逐级建设水库储存淡水，并且综合利用海水抽水设施，便可扩大这一地区的水资源。储存淡水的水库会将泥沙不断分离保留在库内，而将清水转移到周围的平原水库。经过若干年后，水库淤满，可将之排干成为一片不受盐碱化影响，而且具有灌溉条件的高地；同时在其下游另建新水库，继续储水分沙。如此不断循环，则在避免河道淤积的条件下，仍可为河口地区回收大量淡水和增加良好的土地资源。这实质上是以动力和海水换取淡水资源和增加良好的土地资源（黄河口地区原有大面积的盐碱地）。黄河流域有丰富的能源，而淡水资源则严重不足。上述交换是合理的。随着经济和人口的发展，淡水资源匮乏问题在 21 世纪将变得更加尖锐；淡水价值将愈来愈高。尽量回收冲沙淡水将变得十分必要。从数量上看，

淡水抽引量达到每年以 10 亿  $m^3$  计也是可能的。在人口相对比较少的河口地区，通过建设沿岸水库抽取淡水和淤地造田是可行的。根据初步估计，利津以下 100 多 km 的两岸分别按 10 km 宽度建水库和淤地，可以提供 50~100 亿  $m^3$  的存沙空间。同时，这样沿河建设的平原水库将有效地抑制海水进入黄河后下游可能带来的咸水外渗和相应的环境问题。

从更大范围着眼，黄河河口地区如因引海水刷深河道而解除洪水威胁，淡水和土地资源也因之得到改善或保证；引海水流量愈大，则清除河道淤积或汛期减淤的能力愈强，回收淡水的量也随之可以更大，又有胜利油田作为工业基本力量，则经济持续发展已具备必要的条件。同时，在河口地区发展航运也是一个值得重视的因素。增大引海水流量后，还有可能将黄河河口段和引海水渠道开辟为通海航道，使利津、垦利和东营等处通航。对地区经济发展和对外开放将起重要的推动作用。对引海水规模这个至关重要的问题，还可进一步结合减淤防洪、资源利用和地区经济发展具体研究。

## 7 生态环境问题分析

引海水冲刷黄河河口在生态环境方面既带来了有利的影响，也有不利的影响，但可能利大于弊。

1) 黄河长期断流，减少了入海泥沙，从而减少了渤海海洋生物的天然饵料，造成海洋生物链断裂和部分岸线蚀退<sup>[9]</sup>。有些鱼类，如刀鱼，已濒临灭绝。引海水冲刷河道可以恢复浑水和泥沙入海，增加海区养分，增加浮游动物数量，有利于维持渤海生态平衡、改善海域的生态条件。如按引海水流量为 1 500  $m^3/s$  和每年引水 200 天计，则每年入海水量即可增加 260 亿  $m^3$ ，随之大量的泥沙进入渤海，以弥补黄河河口地区目前缺乏的生态水。黄河三角洲湿地是温带地区最完整、最年轻的湿地生态系统，湿地资源对海洋生物和鸟类具有重要的意义，近年来由于长期断流，这些脆弱的湿地生态系统正在萎缩和破坏。三角洲湿地主要决定于河道水位和三角洲的冲淤稳定，采用引海水方案不但可以确保河口沿岸地下水位，而且，大量置换出来的淡水可以弥补三角洲地下水位的下降；同时河口泥沙扩散范围加大，可以减缓周围（离口门较远处）湿地的蚀退，对湿地保护具有重要意义。

2) 艾山以下河道冲深后，增大这部分河道的

滩槽高差。坡降加大可增大泄洪能力。这些都有利于滩地防洪，减少滩地洪灾。艾山以下河道泄洪能力加大后，不但使山东河段进一步脱离洪水威胁，而且，使用东平湖和北金堤分蓄洪区的机会也可减少。

3) 不利的方面是在下游河道注入海水后会引引起咸水外渗。为此需在利津至西河口一带的堤防做防渗工程，以免过多地扩大土地盐碱化的面积。引海水渠道也面临类似的问题，需要配备防渗措施。然而，决定三角洲地区土地碱化的另一原因是淡水地下水位的下降。如果引用海水冲刷河道后，能够在原冲沙水配额之内置换出更多的淡水，为地区增加几十亿立方米的淡水资源，则增加三角洲淡水灌溉将明显减少土地的盐分；地下淡水水位恢复甚至提高，盐水入侵将大大减退，整个区内土地碱化面积可能反而会有所减少。当然，关于环境影响问题，还有待于全面的研究。总的说防渗比防淤容易得多，因为要防渗便反对引海水冲刷是因噎废食。

## 8 需要进一步研究的问题

引海水冲刷黄河河口是治理黄河的一个新的研究方向。已进行的有限计算表明，这一方向是有希望的，但还需要进行更多研究以确定其是否可行。进一步的研究应该针对黄河河口地区特点，对异重流和沿岸混浊带的形成以及溯源冲刷机理、河口外延和蚀退过程、黄河泥沙絮凝及其对河道冲刷和泥沙在河口淤积的影响等问题进行试验研究。还应运用数学模型对溯源冲刷的范围和幅度；出海泥沙的扩散和淤积分布规律等进行研究。对区域生态环境及社会经济发展的影响等也需要研究。

## 9 结语

引海水冲刷黄河河口可带来以下好处：

1) 在海水注入点造成水面和河床跌差。引海水流量愈大则跌差愈大。在方案 B 和 C 中，水面跌差分别达到 6.7 m 和 7.9 m。水面跌差将在注入点以上引起溯源冲刷，冲深河槽及加大河道坡降，两者都有利于黄河山东段的防洪。估计溯源冲刷的范围可达艾山，使艾山以下的黄河的河道得到降低。

2) 只要存在着水面跌差，溯源淤积便不能越过海水注入点，从而可减轻注入点以上河道的淤积。注入点以下河道的平衡坡降可以大大减小。方

案 B 和 C 约可减为原来的一半, 当河口外延距离相同时, 在注入点的水面升高值也只为原来的一半。

3) 入海咸浑水可能形成异重流, 使更多泥沙远离河口淤积, 减缓口门外延。

4) 配合小浪底工程拦沙、减淤和河南段清水冲刷, 可望在黄河下游形成全河段冲刷的局面。

5) 海水作为冲沙水源后, 可在河口地区从冲沙水配额中回收淡水。引海水流量愈大, 可回收的淡水量也愈大。回收淡水的同时也向两岸分沙, 有利于河口盐碱土地改良。

6) 引海水冲刷后, 黄河下游平衡纵剖面的终点将移至海水注入点附近, 使整个下游的平衡纵剖面下降, 有利于黄河下游河道淤积控制和减小其改道的风险。

7) 每年增加几百亿  $m^3$  浑水进入渤海, 有利于维护渤海生态、河口湿地和生物多样性。

引海水冲刷下游河道也会带来以下问题:

1) 咸水可能从河槽及引渠外渗, 需采取防渗措施, 以免增加两岸盐碱地面积。

2) 河床发生长距离冲刷时, 可能同时引起堤内滩地坍塌。应配合黄河下游河道整治, 对重点地段进行必要的加固, 以促使河道向相对窄深的单一

河型转化。

#### 参考文献

- [1] 谢鉴衡. 黄河下游悬河现状与治理刍议 [J]. 泥沙研究, 1999, (1): 7~11
- [2] 尹学良. 黄河下游的河性 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1995. 314, 325
- [3] 林秉南, 周建军, 张仁, 等. 引用海水冲刷黄河下游——治黄新途径的探索 [J]. 中国水利水电科学院报, 1997, 1 (2): 1~10
- [4] Zhou J, Lin B. 1-D mathematical model for suspended sediment with lateral integration [J]. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 124 (7): 712~717
- [5] Altinakar S, Graf W H, Hopfinger E J. Weakly depositing turbidity current on a small slope [J]. J. of Hydraulic Research, 1990, 28 (1): 55~80
- [6] 尹国康. 黄河下游纵剖面自调整特性 [J]. 泥沙研究, 1999 (2): 28~33
- [7] 曾庆华, 张世奇, 胡春宏, 等. 黄河口演变规律及整治 [M]. 河南郑州: 黄河水利出版社, 1997. 24~26
- [8] 李建成. 黄河断流对河口地区的影响 [N]. 黄河报, 1999-4-24 (2)
- [9] 任美镠. 黄河下游断流引起的环境问题及其防治措施 [J]. 科技导报, 1999 (2): 3~6

## Diverting Seawater to Scour the Estuary and to Regulate the Lower Yellow River

Lin Bingnan<sup>1</sup>, Zhou Jianjun<sup>2</sup>, Zhang Ren<sup>2</sup>

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044;

2. Tsinghua University, Beijing 100084)

**[Abstract]** The writers propose to divert seawater from Guanli Harbor on the coast of Laizhou Bay with transversal canals and have it discharged into the Lower Yellow River at Lijin, about 110 km upstream of the river mouth (route B, Fig. 1). The flow diverted ranges from 500 to 1 500  $m^3/s$ , to be stipulated later in the feasibility study. This flow of "clear" seawater would strongly scour the channel downstream of Lijin and reduce its surface slope so much that for a flood of 3 000  $m^3/s$  an abrupt drop of 3.3 to 7.9m in the water surface would occur at Lijin. This drop would bring about retrogressive erosion of the riverbed upstream of the point of injection of seawater. The extent of this erosion is estimated to be 270 km upstream from Lijin. Thus a total of about 380 km of river channel would be scoured down. The reach downstream of Lijin would be transformed from an above-the-ground river to a down-in-the-ground river and the reach above Lijin would possess a deeper main channel. Safety in the defense against flood would thus be much enhanced.

For rational use of the Yellow River water resources, the State Council has allocated definite water right to every riparian province. A runoff of about 20  $km^3$  is, however, to be reserved for sediment transport, in order to



prevent the channel bed from excessive silting. With the facility available for the injection of seawater at Lijin, however, in the region down stream of Lijin one may redeem a portion of fresh water so reserved and restored the channel afterwards by scouring with seawater. Depending on capacities of pumping and reservoir storage available, the amount of fresh water redeemed may well run up to 1 km<sup>3</sup> annually. This would be very valuable to the development of the estuarine region.

Since 1972, the Lower Yellow River has experienced a dry spell and has dried up from time to time. This has upset the ecological balance of the Bohai Sea because of interruption in the discharge of nutrient - carrying turbid water from the river. Scouring the estuary by diverting seawater will maintain a year round discharge of turbid water to the sea and help improve the ecological conditions as well as checking the receding of the coast-line.

Turbid seawater being of greater specific weight than the clear seawater would form density current when discharged to the Bohai Sea. Sediment would then be conveyed to points far from the river mouth, thus delaying or even stopping the extension of the Yellow River delta. Moreover, when the river dries up, the river mouth would most likely recede under the scour of the discharging seawater because of lack of sediment supply from the drainage basin. Taking all the factors into account, one may expect little delta extension when seawater is diverted for scouring. Lijin, where seawater is injected, may then be taken as the effective location of the river mouth where the longitudinal equilibrium profile of the Lower Yellow River would terminate. This equilibrium profile would be lower than the original one by 4~12 m, depending on the estimated values of equilibrium slope for the final reach of the estuary. The hazard of levee breaching is thus much reduced.

[Key words] diverting seawater; scouring; the Lower Yellow River; above-the-ground river; water resources

---

(cont. from p. 11)

## Considering the development of China's refining industry at the beginning of new century

Lü Jiahuan, Wang Xinhong

(China Petrochemical Consulting Corporation, Beijing 100029, China)

[Abstract] China's refining industry now has had fair strength after 50 years' development. By the end of 1999, the annual capacity of crude oil processing had reached 250 million tons, which was ranked 4th in the world. At the turn of the century, China's refining industry should solve a set of problems first, such as utilizing domestic and foreign crude oil resources as a whole, especially some problems in processing, storage, transportation and resource security of foreign crude oil. At the same time, in order to take up the challenges born of China's entering WTO, it is necessary to enhance the overall competitive power against imported oil products in the respects of reducing the purchase cost of crude oil, raising facility utilization, cutting down the consumption of energy and material, prolonging production cycle, lowering production cost, improving the quality of products and meeting the requirements of environment protection.

[Key words] new century; refining industry; development