

# 黄河三角洲及附近海域综合治理战略研究

王万战<sup>1,2</sup>, 雷坤<sup>3</sup>, 江恩惠<sup>1</sup>, 李子成<sup>3</sup>, 韩雪娇<sup>3</sup>, 李岩<sup>2</sup>

(1. 黄河水利科学研究院, 河南郑州, 450003; 2. 华北水利水电大学, 河南郑州 450045;  
3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 针对黄河三角洲及附近海域的生态环境现状和主要问题, 从黄河三角洲是河—陆—海体系一部分的角度, 提出了黄河三角洲及其附近海域综合治理战略: (a) 通过多流路和科学调度, 把黄河水沙营养物质相对均匀地输送到黄河三角洲沿岸各处, (b) 把河口河道整治成相对窄深的河道, 以节约黄河口输沙水量; (c) 利用黄河泥沙, 淤高三角洲洲面, 增加地下水埋深, 改良盐碱地; (d) 在渤海西岸及其上游地区实施陆海统筹的环境管理和污染治理。

**关键词:** 黄河三角洲; 生态; 综合治理; 陆—海统筹环境管理; 战略研究

**中图分类号:** P343.5 **文献标识码:** A

## Study on Creating an Integrated Management Strategy for the Yellow River Delta and Its Ambient Sea Area

Wang Wanzhan<sup>1,2</sup>, Lei Kun<sup>3</sup>, Jiang Enhui<sup>1</sup>, Li Zicheng<sup>3</sup>, Han Xuejiao<sup>3</sup>, Li Yan<sup>2</sup>

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 2. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Since the Yellow River Delta is a part of the river-land-sea system, the paper proposes a new strategy for creating an integrated management system for the delta and its interconnected bodies of waters based on current ecological and environmental issues. The strategy advocate: (a) ensuring relatively even distribution of the Yellow River's water, sediment and nutrients along the delta's coast via multiple avenues of dissemination and scientific management methods; (b) making the channel on the delta narrow and deep to economize water volume for sediment transportation to the sea; (c) making good use of river sediment to raise the height of the delta and increase the groundwater depth and reduce soil salinity; and (d) implementing land-sea integration policies on the western coast of the Bohai Sea and its upper area to manage the whole region's environmental resources and reduce pollution in the delta's waters.

**Key words:** Yellow River Delta; ecology; integrated management; land-sea integrated environmental management; strategic study

### 一、黄河三角洲及附近海域主要生态环境问题

#### (一) 黄河三角洲土地盐碱化现状及其改良方法

##### 1. 黄河三角洲土地盐碱化现状

现代黄河三角洲是指 1855 年黄河入渤海以来

形成的西至徒骇河河口段, 南到支脉沟, 顶点位于宁海、面积约 6 000 km<sup>2</sup> 的扇形区域。黄河水沙是影响黄河三角洲湿地健康的主要因素, 2002 年以来通过黄河调水调沙、以及 2010 年起实施刁口河生态补水措施, 黄河三角洲自然保护区湿地恢复较好<sup>[1,2]</sup>。但是, 黄河三角洲土壤盐碱化严重的特点

收稿日期: 2016-01-19; 修回日期: 2016-02-18

作者简介: 王万战, 黄河水利科学研究院, 高级工程师(教授级), 研究方向为河口海岸工程和三角洲生态治理研究;

E-mail: 834584254@qq.com

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“中国海洋工程与科技发展战略研究(II 期)”(2014-ZD-5); 国家自然科学基金资助项目(51409111)

本刊网址: www.engingsci.cn

基本没变,至今大部分仍然是中度和重度盐碱化土地。依据2004年黄河三角洲土壤盐度实测资料,无盐碱化区和轻度盐碱化区分别占三角洲总面积的10%和16%,主要分布在地势较高且有黄河淡水补给的刁口河、清水沟、以及王庄一干渠和二干渠两侧数千米范围内(即盐窝镇—虎滩乡—义和镇);海边区域土壤盐度大,近海边5~21 km范围为重度盐碱化区,占三角洲总面积的40%;中度盐碱化区,占三角洲总面积的34%,位于重度和轻度区之间。

滨州上游至济南地区地下水埋深较大(2~4 m),土地基本无盐碱化。

## 2. 黄河三角洲改良盐碱地的方法及不足之处

截至目前,黄河三角洲地区改良盐碱地主要尝试的方法如下:一是修建自流式排水沟。但是与荷兰三角洲排水沟水位自动化控制精度在厘米级相比较,黄河三角洲排水沟管理相对落后。农业灌溉采用传统的粗放式管理,重引水、轻排水。排水沟渠排水效果差,沟渠失修,目前当地农民不再使用沟渠排水的方法降低盐碱地盐度。二是“挖池抬田、以渔改碱”<sup>[3]</sup>。该方法在当地也被简称为“上粮下渔”。挖塘养鱼,增加地下水埋深。挖塘用于养鱼,挖塘弃土用于抬高塘周围地面,增加地下水埋深。以东营市为例检验了该方法,结果发现:塘内盐度很快增加到不适宜养殖的程度,至今还没有找到适宜的养殖品种;而且此种方法占地率较高,因此东营市基本放弃此种方法。三是暗管排水<sup>[4,5]</sup>。暗管排水试点工程与淡水洗盐结合使用。由于海平面的限制,地下水水位降低不明显(通常仅降低0.3 m左右),调研发现该方法存在的问题是首次投资大、缺乏暗管排水和淡水洗盐各自的降盐功效数据支撑,因此该技术还处于探索、推广阶段。四是选择适宜的耐盐耐旱作物<sup>[5]</sup>。先后尝试种植了苜蓿、甜菜、玉米、黑枸杞、冬枣和棉花等,在这些试验的农作物中,玉米和棉花是当地农民目前种植面积较大的植物,但是它们不耐旱,仍需要一定的灌溉水量,目前还没有找到经济价值较高的适宜农作物。五是改良土壤质地。黄河三角洲地区引黄河泥沙入田,细沙累积过多后,毛细作用增强,把下层盐分吸到表层<sup>[6]</sup>,形成次生盐碱化,因此初步的研究希望通过增加适当的粗沙,做好粗细沙搭配,改良土壤质地;目前仍在探讨性研究中;六是引黄河水洗盐。它是黄河三

角洲农业灌溉的主要方法,但存在的问题是,该方法与日益紧张的黄河水资源供给相矛盾。综合以上几种方法的经验教训,同时考虑到黄河三角洲泥沙较多的特点,本研究认为增加地下水埋深是综合治理盐碱地的主要措施。

## (二) 黄河三角洲的其他自然环境问题

### 1. 河口海岸淤积严重

由于人类活动和自然因素等原因,较之于1999年10月小浪底水库运用前,小浪底水库运用后至今黄河口水量较小,含沙量更小(见图1)。

小浪底水库运用后,黄河下游主槽冲刷逐渐向河口段方向发展,但是由于受潮汐等因素的影响,感潮段(清4断面以下的河道,即汉河河道)在2007年前仍是以淤积为主,2007年以后,以冲刷为主,即小浪底初期拦沙运用后约7~8年后坝下冲刷发展到河口。河口沙嘴仍是向海淤积延伸的,其中2000—2007年,黄河口延伸约4 km,沙嘴延伸速率约为 $0.5 \text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$ ,平均每亿吨来沙造成沙嘴延伸约0.3 km。

1976年5月,黄河刁口河流路不再行河,改走清水沟流路。由于入海泥沙量急剧减少,三角洲北部海岸呈蚀退状态,蚀退范围逐渐向清水沟沙嘴方向扩展;但直到1999年10月小浪底水库开始运用时,清水沟沙嘴及其以南的莱州湾海域仍呈淤积状态;小浪底水库运用后,由于含沙量减小,蚀退范围扩大,除沙嘴以外,清水沟沙嘴以南的莱州湾海域也转为蚀退。

河口海岸冲淤的影响:

(1) 黄河口淤积延伸会加快其上游河道的抬升速率

黄河口是多沙河口。过去几十年来,国内外专家学者对黄河口淤积延伸对其上游河道河床升降的影响做了大量的研究。尽管对黄河口淤积延伸反馈影响的距离存在不同的认识,但总体上已形成共识,认为黄河口淤积延伸必然造成其上游一定范围内河道河床抬升。因此,减缓黄河口淤积延伸速率是治理黄河三角洲的工作重点之一。

(2) 海岸蚀退影响防潮堤安全,未充分利用海洋动力输送黄河泥沙入海

黄河三角洲防潮堤是抵御风暴潮袭击的屏障,堤前海滩能大大减缓风暴潮的破坏力。然而,三角洲海岸蚀退已造成堤前海滩部分或完全消失,飞雁

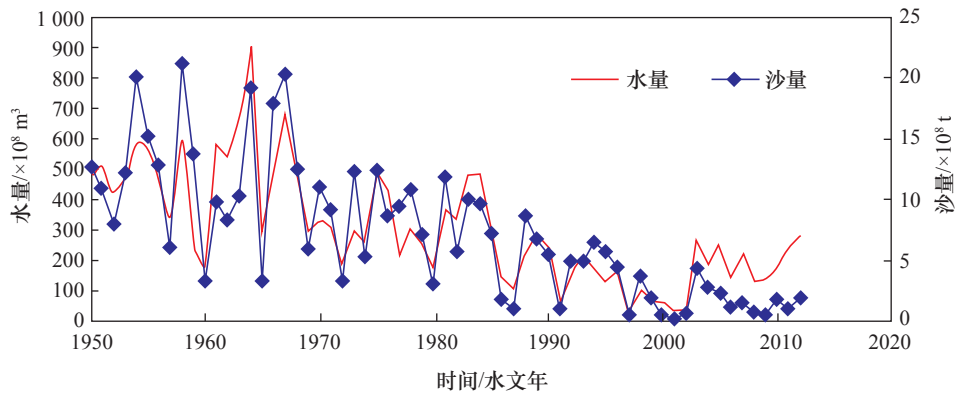


图1 黄河利津水文站实测水量和沙量

数据来源: 1950—2012年《黄河流域水文资料第5册(黄河下游区)》, 水利部黄河水利委员会刊印。

滩、孤东围堤等多处局部海堤堤跟被淘刷, 护坡块石坍塌, 影响了防潮堤的安全。与此同时, 海岸蚀退现象说明当地海洋动力有一定的输沙能力, 应加以利用, 输送黄河泥沙入海。然而, 目前黄河单一入海流路运行模式只能把泥沙集中输送到口门处, 超过了当地的海洋动力输送能力, 造成沙嘴淤积延伸, 影响其上游河道。

## 2. 黄河三角洲滨海湿地退化

黄河三角洲是世界上陆地增生速度最快的区域。长期以来由于黄河尾闾的摆荡, 黄河泥沙的淤积, 黄河三角洲在以较快的速率向海中延伸, 形成大面积新生土地。但近半个世纪以来的开发和黄河流域气候的变化、黄河水沙量减少, 使得黄河造陆速率下降, 黄河三角洲滨海湿地呈现出不断萎缩退化的趋势。

河口滨海地区是自然生产力相当高的区域, 黄河口及邻近海域物产丰富, 生物量高。但随着开发程度的不断加深, 强度加大, 资源量出现萎缩, 生产力下降, 许多物种甚至绝灭。同时, 黄河三角洲多为新生土地, 生态环境脆弱, 在人们不断开发利用的过程中, 生态环境受到了严重的破坏, 生态环境衰退、环境质量下降、生物多样性降低。

## (三) 黄河三角洲附近海域海水污染问题凸显

### 1. 无机氮含量多、盐度升高

黄河三角洲海域的主要污染物是无机氮, 活性磷酸盐较少且相对稳定, 氮磷比失调, 大多数年份富营养化程度低。近年来, 黄河口附近海域盐度明显升高。依据2003年国家海洋环境质量公报, 黄河口区表层海水最高盐度已经达到3.42%, 与1959年同期相比增加了约25%, 导致海水盐度增加的

主要原因是黄河淡水输入量逐渐减少。

### 2. 三角洲海域中部污染较轻、两侧海域污染较重

除2007年外, 2005—2012年大多数年份刁口河—清水沟附近海域是轻度污染区(见图2); 2007年刁口河—清水沟附近海域是严重污染海域, 以劣四类海水水质为主。2005年、2006年从渤海湾湾顶到清水沟, 海域污染程度逐渐降低。黄河三角洲清水沟以南的海域污染最轻, 是较清洁海域, 符合二类海水水质标准。2008年以后, 清水沟以南水域污染加重, 致使黄河三角洲海域污染特征呈现中部海域(刁口河—清水沟附近海域)污染轻(以二类、三类、四类水质为主)、两侧污染较重(以四类 and 劣四类水质为主)的特征。

### 3. 黄河三角洲夏秋季节水质污染严重

黄河三角洲春季污染较轻, 以二类水质为主, 夏秋季节污染较重, 以二类、三类、四类水质为主。根据《海水水质标准》(GB 3097—1997), 夏秋季节黄河三角洲较浅海域水质不符合水产养殖业要求。

### 4. 夏季有机污染持续加重

据国家海洋环境质量公报, 从1957—1999年夏季四个海区的溶解氧年际变化图(见图3)中可以发现, 渤海四大海区的溶解氧总体上呈现先上升后下降的趋势。辽东湾的溶解氧年际均值为 $5.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 达到II类海水水质标准, 在1988年达到最大值为 $7.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 近40年间, 辽东湾的溶解氧在 $4.27 \sim 7.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 波动。莱州湾溶解氧年际均值为 $5.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 近40年间溶解氧在 $4.16 \sim 6.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 波动, 最大值出现在1989年为 $6.47 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 最小值在1998年为 $4.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 渤海湾相对收集到的数据较少, 仅有1974年, 1979—1981年以及1989

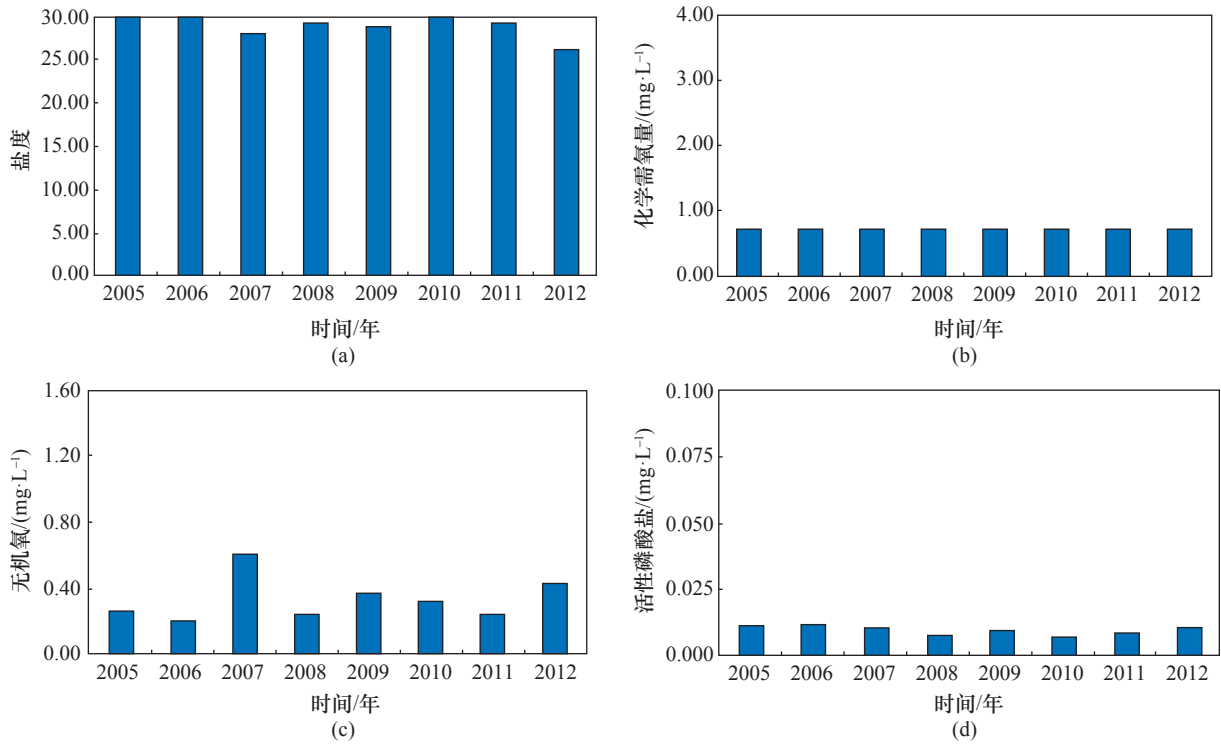


图2 黄河口水体中主要环境要素平均值的年际变化

数据来源: 2012年中国海洋环境状况公报, [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzjlgb/hyhjzjlgbl/2012nzghyhjzkgb/201303/t20130328\\_24709.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzjlgb/hyhjzjlgbl/2012nzghyhjzkgb/201303/t20130328_24709.html).

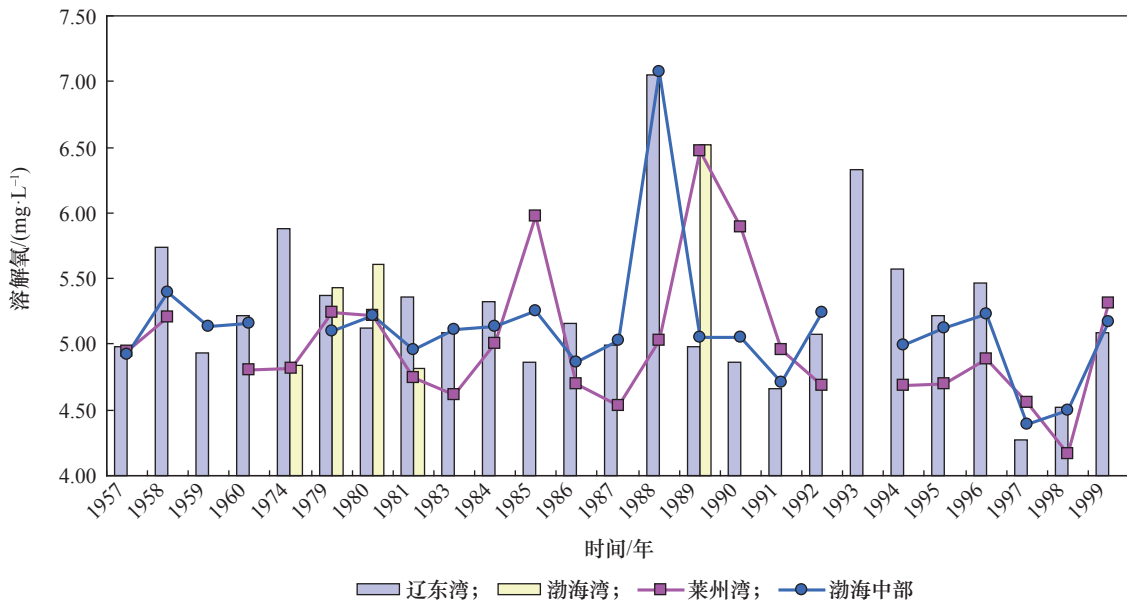


图3 1957—1999年夏季渤海局部水域溶解氧的年际变化

数据来源: 《2007年度环保公益性行业科研专项项目成果汇编》, 中国环境科学出版社2012年。

年的数据, 最大值出现在1989年, 为  $6.52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 渤海中部夏季溶解氧年际均值为  $5.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 总体在  $4.39\sim 7.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  波动。比较四大海区的夏季溶解氧发现, 最大值都大于  $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 最小值在  $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上, 同时均值都在  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上; 另外, 溶

解氧的最大值都出现在20世纪80年代后期, 最小值出现在90年代后期, 由于溶解氧反映水质中的氧含量, 同时反映水体受有机污染的程度, 说明从80年代后期到90年代, 环渤海海域夏季有机污染在加重。

#### (四) 生态系统处于亚健康状态

据2006—2014年国家海洋环境质量公报报道,黄河口2 600 km<sup>2</sup>被监测海域生态系统处于“亚健康”状况;2014年渤海湾和莱州湾生态监控区也处于“亚健康”状况,这说明生态系统基本维持其自然属性;生物多样性及生态系统结构发生一定程度变化,但生态系统主要服务功能尚能发挥;环境污染、人为破坏、资源的不合理开发等生态压力超出生态系统的承载能力。

20世纪80年代中期以后,黄河口附近海域渔业产量明显下降,从1982年平均103 (kg·(网·h)<sup>-1</sup>)下降到2007年平均12 (kg·(网·h)<sup>-1</sup>)<sup>[7]</sup>。依据2005年国家海洋环境质量公报,陆源污染、黄河入海径流量减少、过度捕捞是影响黄河口监控区生态系统健康的主要原因,2007年以后莱州湾鱼卵仔鱼数量持续下降,渔业资源严重衰退,传统产卵场、索饵场、渔场的功能受到破坏。

综上所述,黄河三角洲及其附近海域不仅存在自然环境问题,如三角洲土地盐碱化严重,河口淤积延伸、海岸蚀退、三角洲附近海域污染严重等,而且还存在生态问题,如三角洲附近海域渔业产量较低、恢复缓慢等。

## 二、黄河三角洲及附近海域综合治理战略

《黄河入海流路规划》<sup>[8]</sup>为黄河三角洲防御黄河洪水灾害提供了基本的技术保障。近期完成的《黄河流域综合规划》<sup>[9]</sup>包括了黄河口治理规划、黄河三角洲水资源规划、流路泥沙处理规划等,与黄河三角洲有关的主要内容包括:①黄河口入海流路规划:流路采用单一流路行河模式,目前的清水沟流路还可继续行河50年左右,其后改走刁口河流路,把马新河和十八户流路作为远景的可能的备用流路;②为了输沙入海,在黄河利津断面应保证多年平均汛期水量为 $1.7 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>左右,非汛期利津断面生态环境需水量为 $5 \times 10^9$  m<sup>3</sup>;③水资源短缺,在南水北调东、中线工程生效至南水北调西线一期工程生效前,年均入海水量只有 $1.9 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,其中汛期为 $1.4 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>左右。即使今后南水北调西线一期等工程生效后,山东仍缺水12%。规划提出工农业城镇生活节水等措施;④泥沙处理战略:拦、调、排、放、挖,其中规划的放淤区域有小北干流

滩区、温孟滩区、下游滩区和内蒙古河段的十大孔兑,放淤潜力约为 $1.95 \times 10^{10}$  t。

2009年12月国家发展改革委员会批复的《黄河三角洲高效生态经济发展规划》指出,要大力改良盐碱地,发展棉花产业区,增修防潮堤等。

以往的规划没有列明改良盐碱地的具体措施,也没有指出保护海滩对保护防潮堤的重要作用和减少黄河口输沙入海用水量的途径及方法,另外,以往规划对陆海统筹考虑较少。

本文提出的黄河三角洲及附近海域综合治理战略,把黄河三角洲作为河-陆-海体系的一部分,尽可能地统一解决上述黄河三角洲陆地和附近海域存在的生态环境问题。

### (一) 通过黄河多流路等手段,把水沙营养物相对均匀地输送到三角洲沿岸海域

通过黄河多流路行河等手段,把水沙营养物相对均匀地输送到三角洲沿岸海域,能够达到如下几个方面的效果。

一是减缓防潮堤前冲刷,降低黄河口延伸速率。防潮堤前造海滩(beach nourishment)是荷兰在总结前人海岸保护工程经验教训的基础上得出的防治海岸侵蚀的方法。硬性海岸工程建造后,总是造成海岸工程前及沿岸流下游海岸的蚀退。黄河三角洲海洋动力输沙入海的能力约为 $2 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8$  t·a<sup>-1</sup>,目前黄河口单一流路集中输沙不及 $2 \times 10^8$  t·a<sup>-1</sup>,但仍造成河口淤积延伸。如果这些泥沙通过多流路等手段,相对均匀地分布于黄河三角洲防潮堤前水域,黄河口向海中延伸的速率将减小、甚至蚀退,同时防潮堤前的海滩因为加沙、蚀退速率也将减小。

二是有利于三角洲陆地生态健康发展。黄河三角洲沙质较粗,透水性较强,因此,行河的流路和灌渠两侧附近总是植被较好,如清水沟流路汉三断面以下沙嘴,虽处于高盐度区,但是距离河道较近,能得到河流淡水补给,所以芦苇长势很好;而废弃的清水沟清八断面以下的老沙嘴也处于高盐度区,但是植被很少,为光板地,原因是老沙嘴距离河道较远得不到淡水补给。因此,黄河多流路有利于三角洲陆地生态健康发展。

三是有利于三角洲沿岸海域生态恢复。黄河是黄河三角洲唯一的大河,河水中富含营养物,如果

多流路行河，渤海湾和莱州湾因得到黄河淡水和营养物的补充，近岸海域盐淡水环境会得到一定程度的改善，有利于海洋生态的恢复。

黄河多流路入海，既可以考虑重新启用历史流路，也可考虑目前遍布黄河三角洲的灌渠和三角洲支流，还可以考虑使用管道输送。目前，这些河、渠没有输送黄河水沙营养物入海的功能，在三角洲也没有长距离输送水沙的先例，建议深入研究黄河三角洲水沙等物质新的输送方式，使之能把黄河水沙等物质相对均匀地输送到三角洲海岸各处。

## （二）利用黄河泥沙，淤高三三角洲洲面

排水、选择适宜作物、改良土壤质地、加大地下水埋深等是治理盐碱地的综合措施。考虑到黄河三角洲土地下沉和水资源日趋紧张的特点，本研究认为关键措施是加大地下水埋深，可成功解决盐碱地问题，要因地制宜的利用当地的主要资源。荷兰三角洲地区因为三角洲河流泥沙资源较少，只能利用当地丰富的风力资源，用风车车水（现在用水泵抽水）降低地下水水位，进而相对加大地下水埋深，解决了三角洲土地盐碱化问题。黄河泥沙相对较多，利用得不好，是致灾因素，例如造成河口淤积延伸、进而相对加快影响其上游河道的抬升。因此，应充分利用黄河泥沙，通过放淤等方式抬高三角洲洲面高程，改良盐碱地。

## （三）强化三角洲河渠科学管理

世界上大多数河口河道两侧不受工程约束，呈喇叭口形态，河口河道受水沙和潮汐影响易淤积。如1980—1985年黄河大水系列，黄河感潮段（清4以下）河床抬升；1986—1995年小水系列，河口河道淤积抬升；小浪底水库拦沙初期含沙量较小，但是直到2007年感潮段仍是淤积的。密西西比河口感潮段（长约800 km）大部分也是淤积的，但是在口门以上150 km是冲刷的<sup>[10]</sup>，这是因为口门段被人为“罕见地”束窄、束水攻沙。黄河和密西西比河口演变和治理的经验证明，水沙条件和河道整治同时作用可以减缓、消除河口河道泥沙淤积。因此，只要有合适的断面形态，加以科学的水沙调度，多流路不会增加淤积，同时还能减少输沙用水。增加目前黄河三角洲多流路等（如河渠网）输送黄河水沙入海的功能，提高三角洲排水效率，把黄河泥沙相对均匀地输送到黄河三角洲海岸，利用海洋动力

输沙，既能避免集中输沙到单一口门造成口门延伸，又能减缓防潮堤前海滩蚀退速率，利用黄河三角洲各处的海洋动力输沙入深海，服务于沿岸海域生态的恢复。

## （四）加强渤海西岸地区陆海污染统筹治理，争取水质常年达标

消除水体污染是保障黄河三角洲水质达标的根本。在治理污染工作中，一方面，要考虑黄河三角洲沿岸污染物与渤海湾湾顶、莱州湾湾顶水体物质相互交换；另一方面，要注意既有沿三角洲海岸向湾顶（渤海湾湾顶、莱州湾湾顶）的输移，也有由湾顶向三角洲顶点附近海域反向的输移。因此，治理污染不仅要加强三角洲范围河流污染源的治理，也要包括三角洲两侧地区（渤海湾和莱州湾地区）的治理，即应加强渤海西岸地区陆海污染统筹治理，争取水质常年达标。

## 三、结语

本文总结了黄河三角洲及其附近海域目前存在的主要生态环境问题、治理目标和措施，在吸取国内外三角洲治理经验的基础上，结合黄河口泥沙较多等特点，提出了黄河三角洲及附近海域综合治理的战略思路。

（1）按照以人为本的原则，黄河三角洲大面积盐碱化是黄河三角洲及其附近海域重要的生态环境问题，黄河三角洲生态环境保护工作的重点应从目前的自然保护区保护扩展到改良土壤盐碱地。主要方法是通过放淤等手段，利用黄河泥沙抬高三角洲洲面高程，加大地下水埋深到临界范围内。

（2）通过黄河三角洲河渠等多个输送水道，将黄河水沙营养物等相对均匀地输送到黄河三角洲沿岸。

（3）把河口河道整治成相对窄深的河道，能提高输沙效率，节约输沙用水量。

（4）考虑到渤海湾和莱州湾污染影响黄河三角洲附近海域的水质，建议对渤海西岸及其上游地区实施陆海统筹的环境管理和污染治理。

## 参考文献

- [1] 张爱静,董哲仁,赵进勇,等.黄河调水调沙期河口湿地景观格局演变[J].人民黄河,2013,35(7):69-72.

- Zhang A J, Dong Z R, Zhao J Y, et al. The evolution of wetland landscape pattern of the Yellow River Estuary during water and sediment regulation [J]. *Yellow River*, 2013, 35(7): 69–72.
- [2] 司敬玲, 张月明. 黄河三角洲刁口河生态调水实践[J]. *人民黄河*, 2013, 35(2): 30–35.
- Si J L, Zhang Y M. Practice of ecological water dispatching in Diaokouhe waterway of the Yellow River delta [J]. *Yellow River*, 2013, 35(2): 30–35.
- [3] 张金路, 段登选. 黄河三角洲盐碱地现代渔业综合开发生态工程技术及建议 [J]. *齐鲁渔业*, 2009, 26(5): 51–53.
- Zhang J L, Duan D X. Proposal for integrated eco-engineering for current fishery within the saline-alkaline Yellow River delta [J]. *Shandong Fisheries*, 2009, 26(5): 51–53.
- [4] 杨玉珍, 卜凡敏, 罗纨. 黄河三角洲排灌模式转换工程试验研究 [J]. *人民黄河*, 2012, 34(12): 103–105.
- Yang Y Z, Bu F M, Luo W. Experimental research on the irrigation and drainage model conversion project in the Yellow River delta [J]. *Yellow River*, 2012, 34(12): 103–105.
- [5] 吕学军. 基于生态经济理论的滨州市防灾模式与对策[J]. *农业现代化研究*, 2013, 34(6): 684–693.
- Lu X J. Patterns and Countermeasures of disaster prevention based on theory of ecological economy in Binzhou [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2013, 34(6): 684–693.
- [6] 毛伟兵, 王景元, 孙玉霞. 入田泥沙对黄河三角洲地区土壤物理性状的影响[J]. *生态环境学报*: 2010, 19(1): 212–217.
- Mao W B, Wang J Y, Sun Y X, et al. Effects of the sediment introduced into the field on soil physical properties in Yellow River Delta [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(1): 212–217.
- [7] 黄葵, 石达扎实, 邓春蕾, 等. 黄河口近海生态系统与入海径流的响应关系[J]. *人民黄河*, 2012, 34(11): 66–69.
- Huang K, Shida Z S, Deng C L, et al. Response relationship between ecosystem and runoff into the sea in the Yellow River estuary [J]. *Yellow River*, 2012, 34(11): 66–69.
- [8] 习家治, 陆俭益, 丁六逸, 等. 黄河入海流路规划报告[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘测规划设计院, 1989.
- Xi J Z, Lu J Y, Ding L Y, et al. Report of the plan for Yellow River course to the bosea [R]. Zhengzhou: Yellow River Institute for Reconnaissance, Plan and Design, 1989.
- [9] 水利部黄河水利委员会编. 黄河流域综合规划(2012—2030年) [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2013.
- Yellow River Conservancy Commission. Integrated Plan for the Yellow River (2012—2030) [M]. Zhengzhou: Yellow River Hydraulic Press, 2013.
- [10] Jeffrey A N, John S, Michael P, et al. Spatial and temporal trends for water-flow velocity and bed-material sediment transport in the lower Mississippi River [EB/OL]. [2016–03–07]. <http://gsabulletin.gsapubs.org/content/early/2011/12/09/B30497.1>.