第 23 卷 第 3 期 海 洋 学 报 Vol. 23, No. 3
2001- 05 ACTA OCEANOLOGICA SINICA May, 2001

黄河断流对河口空间场后效反馈的遥感复合信息研究

刘宝银[1], 王岩峰[1], 郝庆祥[2]

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 就黄河断流对河口空间场后效所涉及的地理要素的演变, 以所建河口演变概念- 遥感信息系统, 分析研究了黄河口近期演变的互关联信息基础, 并依据研究目标的信息需求分析(IRA)与水下地貌趋势面分析的结果, 阐述了河口空间场诸种反馈信息、变异中直观信息及隐伏信息.

关键词: 黄河口; 断流; 空间场; 遥感; 反馈信息

中图分类号: P208(2); P283.8 文献标识码: A 文章编号: 0253- 4193(2001)03- 0035- 13

1 引言

黄河, 年复一年日益严重的断流为世人所关注. 对其河口研究方法已非同以往, 进行信息需求分析(IRA)、建立地理信息系统(GIS)及处理大量的动态信息, 已成为该领域的一大方向. 基于黄河口的动态信息具有明显的时空效应, 当黄河断流对河口空间场产生后效的反馈信息时, 可建立诸多要素及其相互制约的信息链, 特别是河口景观结构的遥感信息表征了缺少来水来沙的条件和在不同时段的诸动力要素复杂作用情况下, 通过河口空间场的后效规律建立的信息需求分析模型, 可确认研究目标信息主次之分, 为深入分析黄河口演变规律及其环境保护和资源开发提供了科学依据.

2 基础背景

2.1 黄河断流特点

如表 1 所示, 黄河从 1972~ 1998 年间共有 21 a 出现断流, 断流天数逐年增加, 尤进入 20 世纪 90 年代临近河口的利津站, 主要集中在 2~ 7 月和 10 月. 90 年代相对 70 和 80 年代, 断

收稿日期: 2000- 10- 27; 修订日期: 2000- 12- 22.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49871056).

作者简介: 刘宝银(1939—), 男, 山东省枣庄市人, 研究员, 从事海洋遥感应用及其信息系统研究.

流天数分别增加近 8 倍和 10 倍之多; 利津站实测径流量分别降了 11/ 21 和 9/ 19; 实测输沙量分别降了 6/ 11 和 3/ 8, 由此导致了黄河口空间地理要素的演变.

表 1 临近黄河口的利津站断流统计[4]

年份	断流时间		断流次数	断流天数/ d		年份	断流时间		断流次数	断流天数/ d	
	初始	终止		全日	间歇性		初始	终止		全日	间歇性
1972	4 月 23 日	6 月 19 日	3	15	4	1988	6 月 27 日	7 月 1 日	2	3	2
1974	5 月 14 日	7 月 11 日	2	18	2	1989	4 月 4 日	7 月 14 日	3	19	5
1975	5 月 31 日	6 月 27 日	2	11	2	1991	5 月 15 日	6 月 1 日	2	13	3
1976	5 月 18 日	5 月 25 日	1	6	2	1992	3 月 16 日	8 月 1 日	5	73	10
1978	6 月 3 日	6 月 27 日	4		5	1993	2 月 13 日	10 月 12 日	5	49	11
1979	5 月 27 日	7 月 9 日	2	19	2	1994	4 月 3 日	10 月 16 日	4	66	8
1980	5 月 14 日	8 月 24 日	3	4	4	1995	3 月 4 日	7 月 23 日	3	117	5
1981	5 月 17 日	6 月 29 日	5	26	10	1996	2 月 14 日	12 月 18 日	6	123	13
1982	6 月 8 日	6 月 17 日	1	8	2	1997	2 月 7 日	12 月 31 日	13	202	24
1983	6 月 26 日	6 月 30 日	1	3	2	1998				全年总计	137
1987	10 月 1 日	10 月 17 日	2	14	3						

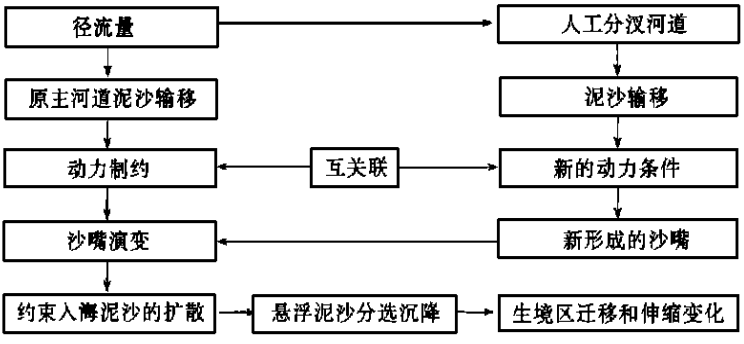

图 1 黄河口沙嘴演变信息链

2. 2 黄河口沙嘴演变信息链

将航天遥感信息所示踪的黄河口沙嘴演变规律, 与相关的自然要素和动力因子等建立概念化和拓扑分析系统, 可用图 1 所示的沙嘴演变信息链来表达. 该信息链充分表达了遥感方法最能体现黄河口沙嘴演变时、空和专题属性三要素的内容, 具体在两个方面: 一是河口沙嘴空间意义上的时间序列性所表观的空间变化, 二是河口沙嘴专题属性的时间序列性所反映的专题属性变化.

2. 3 河口沙嘴演变概念化– 遥感信息系统模型

河口沙嘴演变概念化– 遥感信息系统模型如图 2 所示.

2. 4 河口近期演变的信息关联

自 1976 年清水沟流路行水以来, 入海泥沙量变少, 水沙分布不均. 1976~ 1992 年间水量年际差异大, 年径流量超过 480 亿 m^3 有 2 a, 不到 100 亿 m^3 也有 2 a; 季节间差异更大, 汛期水沙集中程度分别提高 4% 和 5%, 非汛期则出现断流现象. 截止到 1995 年底, 年水量变化范围为 180 亿~ 449 亿 m^3, 年沙量变化范围为 0. 96 亿~ 11. 52 亿 t, 具体状况如图 3 和 4 所示.

3 黄河口地理要素层次结构模型

笔者在建立黄河口地理信息系统过程中, 进行过信息需求分析(IRA), 并发表了相应的论文. 其着眼于已经掌握的包括径流量、输沙量、地质地貌、海洋动力和底栖生物等大量的数据

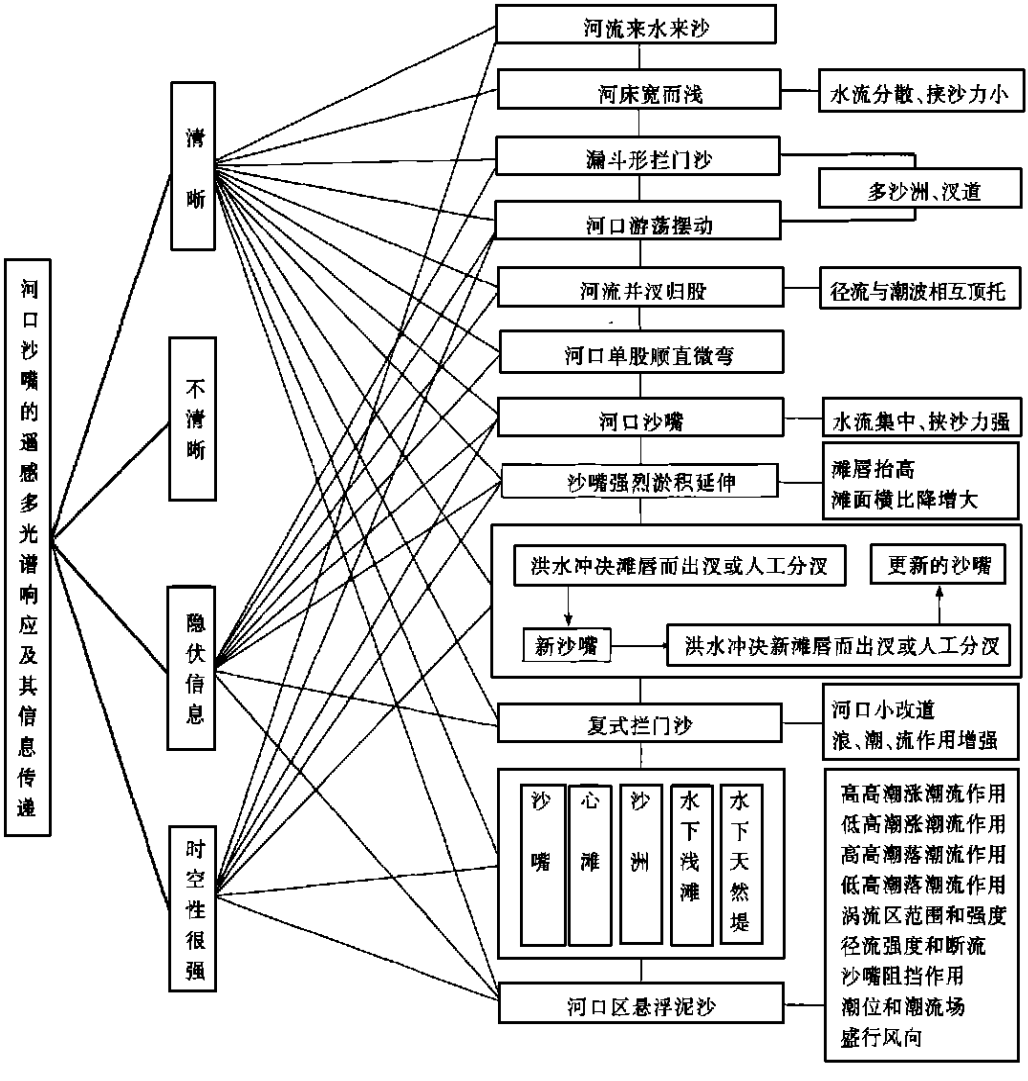

图 2　河口沙嘴演变概念化－遥感信息系统模型

资料, 并确定其“概括度”及其重要层次.

应用模式(prototyping) 采用了具有定性和定量分析相结合的系统分析功能, 为求解非序列多目标体系结构很为有效的解析递解过程(AHP) .

如图 5 所示, 非序列多目标体系结构分为 3 层, 即最高层、中间层和最低层. 最高层是目标层; 中间层是准则层, 表示实现预定目标所要采取的各项准则; 最低层是方案层, 表示要选用解决问题的各种方案、措施等.

由 AHP 递解解析过程建立了如表 2 和表 3 分别所示的黄河口空间场演化因素的判断矩阵和排序权重. 由表 2 与表 3 可知, 黄河断流导致河口空间场的演变, 以来水来沙为主导因素, 具体表现在拦门沙演变、河口大嘴伸缩、河口悬浮泥沙分布格局和海岸变化等, 系指黄河断流对河口空间场地理要素产生的各种反馈信息、变异中的直观信息及隐伏信息.

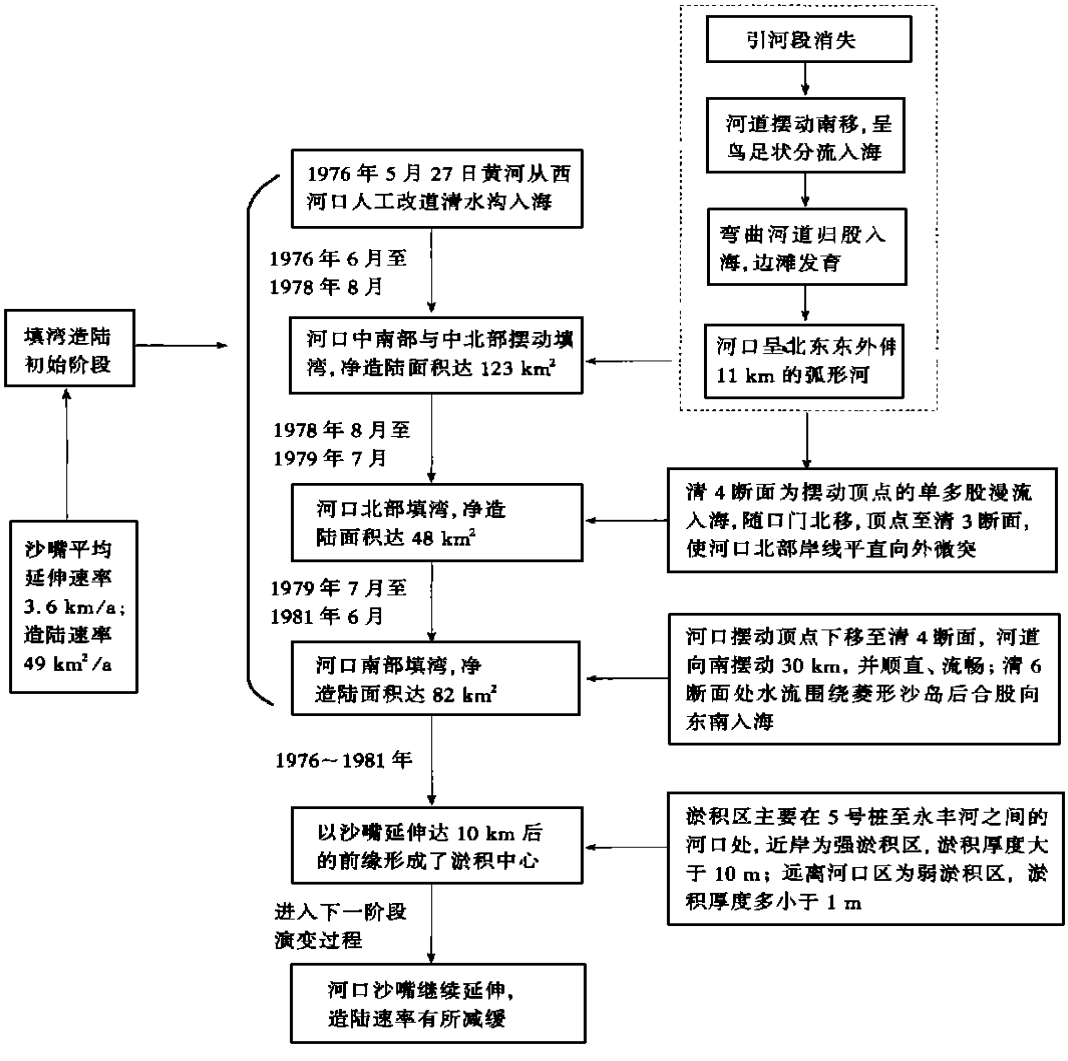

图 3　黄河清水沟流路初始填湾期亚三角洲和尾闾空间演变流程

表 2　黄河口空间场演化因素的判断矩阵

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
Ⅰ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ⅱ	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
Ⅲ	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
Ⅳ	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
Ⅴ	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
Ⅵ	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
Ⅶ	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
Ⅷ	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
Ⅸ	1/9	1/8	1/7	1/4	1/5	1/4	1/3	1/2	1

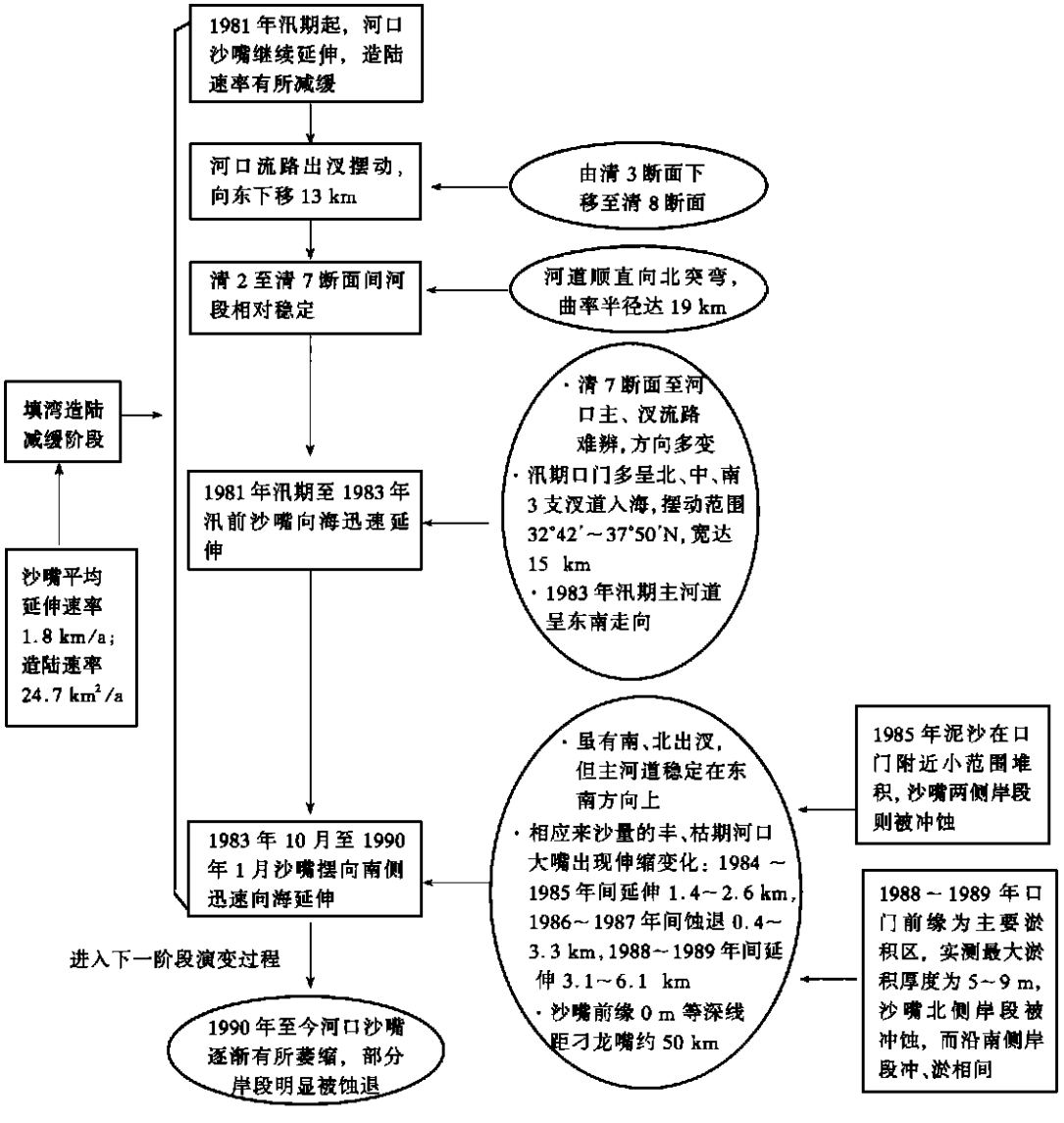

图 4　黄河清水沟流路向海延伸缓慢期亚三角洲和尾闾空间演变流程

表 **3**　排序权重

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
W_{d1}	17. 305	15. 382	13. 459	11. 536	9. 614	7. 691	5. 768	3. 846	1. 923

4　河口空间场的信息特征

4. 1　河口水下三角洲地貌趋势面分析和信息反馈解译

基于多时相的河口悬浮泥沙扩散外边界的遥感影像和实地地形标定表明, 其基本位于水

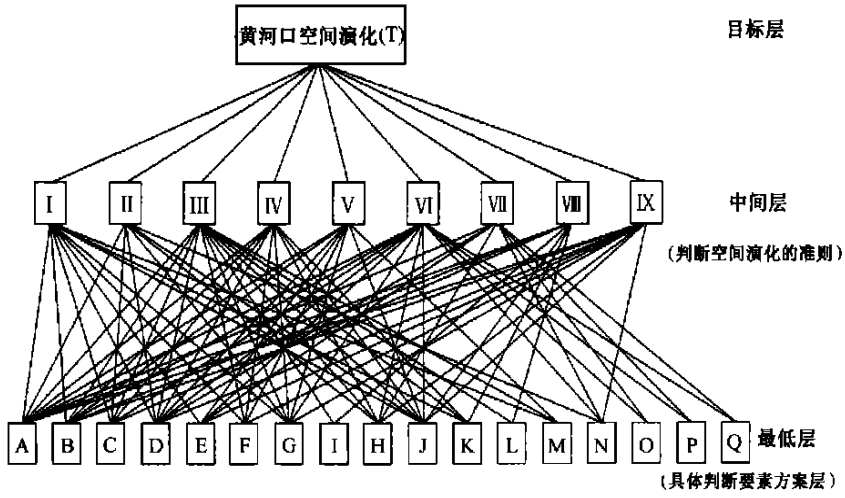

图 5 黄河口空间场地理要素互联阶层次结构模型

注: 目标层为黄河口的空间演化(T); 中间层是判断空间演化的准则, 具体包括河口地貌(Ⅰ)、悬浮泥沙(Ⅱ)、沙嘴(Ⅲ)、口门动态(Ⅳ)、土地资源(Ⅴ)、河口动力条件(Ⅵ)、海洋生态生物资源(Ⅶ)、河道(Ⅷ)、潮滩(Ⅸ)等; 最低层为具体判断要素, 内容包括来水来沙(A)、河口大嘴伸缩(B)、拦门沙演变(C)、河口沉积动力条件(浪、潮、流) (D)、潮滩稳定性(E)、造陆(F)、海岸侵蚀(G)、改道点下移(H)、河口悬浮泥沙分布(I)、河道分汊入海(J)、主槽淤积(K)、河道水位(L)、盐碱地与植被面积(M)、海水温度、盐度变化(N)、浮游植物生长(O)、浮游动物种类多样性(P)、经济无脊椎动物和多种海洋鱼类数量分布(Q). 括号中的英文字母为其代码.

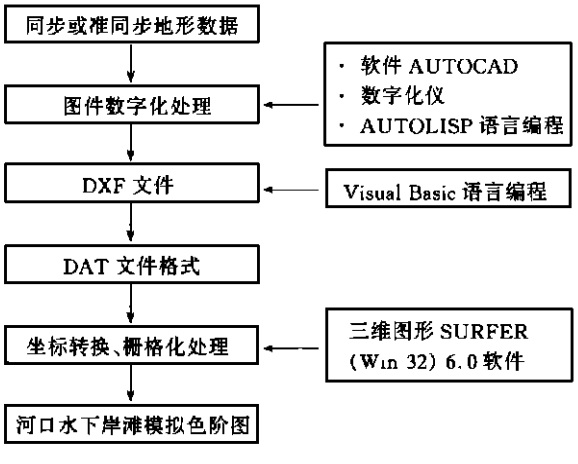

图 6 河口水下岸滩地形数据处理流程图

下三角洲前缘水深约 10 m 急坡处, 就此相关将河口悬浮泥沙扩散遥感信息对河口水下三角洲趋势面分析进行信息反馈解译, 可获知黄河断流对现行河口水下三角洲形态的后效作用.

根据以上所述, 图 6 示出了只要有满足河口水下三角洲整体覆盖和同步或准同步的地形数据, 就可取得如图 7 所示的 1984 年 6 月现行黄河口水下地貌趋势面. 该趋势面具有明显的海洋动力作用下的潮滩, 但无沉积– 地貌相意义上的潮成海滩, 并无向上分汊与潮成沟槽, 突滩前端显示为水下河道淤进急坡, 这与当时当地遥感影像表征的河口悬浮泥沙扩散所至的范围相对应. 依此利用卫星遥感信息, 可反馈解译出黄河断流对现行河口水下三角洲形态演化的影响.

在正常年份, 河口悬浮泥沙扩散的外边界反射率相对高的信息, 正是表征了当时当地黄河口水下三角洲前缘急坡地段; 外边界之外的深色调信息则示出水深达 10 m 以上的水下三角洲尾坡段. 此与 20 世纪 80 年代中期遥感影像信息相比, 表明了水下三角洲坡顶段与前缘急坡

段比降变化最为明显. 此乃正符合庞重光等实地调查研究结果所指出的, 由于河口外潮流作用等因素的影响, 绝大部分异重流搬动的泥沙沉降在水深 8 m 线以内, 在此深度以外, 泥沙含量急速下降到最高值的 10% ~ 1%.

4.2　反馈信息

4.2.1　拦门沙演变

黄河口拦门沙的空间尺度基本与潮流界范围趋于一致. 如表 4 所示, 反映了潮流界逐年缩短的趋势, 这与河口沙嘴向东南偏转面向潮汐作用较弱水域、潮水上溯力相应缩小有关, 导致拦门沙段平均涨、落潮流速差异变小, 因此潮流对径流和入海泥沙的顶托作用变小, 相应减轻了拦门沙内的淤积强度.

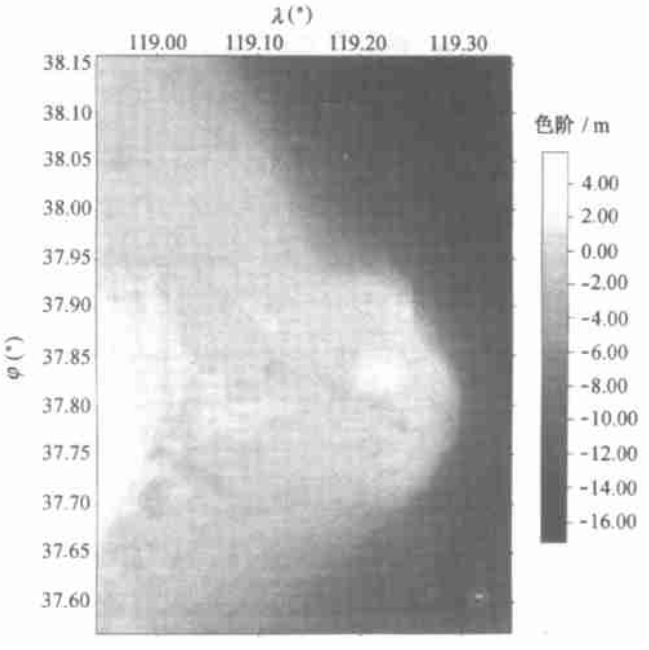

图 7　黄河口水下地貌趋势面色阶图

表 **4**　黄河口潮流界逐年实测长度

年　份	1984	1987	1989
潮流界长度/ km	≤17	12	9.3

4.2.2　河口大嘴向外延伸和蚀退

1990 年前后的卫星遥感拦门沙时序性信息表征了拦门沙逐年下移的趋势, 示意出河口拦门沙内冲、外淤的态势. 与此同期, 直至 1989 年河口处于潮汐作用较弱, 实测到高盐水在此口门的絮凝作用, 76% 以上的泥沙沉积于口门外 5 km 范围内, 导致了拦门沙的前移, 如图 8 所示, 具体表现了河口大嘴的向外延伸. 1996~ 1999 年 3 a 间为黄河断流严重年份, 如图 9~ 11 所示, 河口大嘴明显被蚀退, 经对图像信息进行换算的结果, 沙嘴口门前沿被蚀退达 3.09 km, 同时如图 12 所示, 尤为明显的是沙嘴南侧的岸线被侵蚀.

图 8　TM 合成图像(1985- 11- 25)

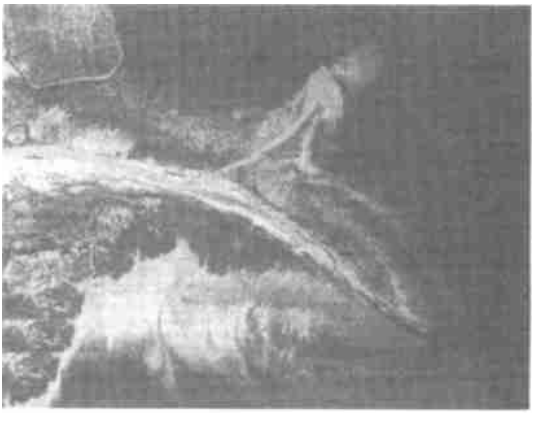

图 9　TM 合成图像(1996- 09- 20)

图 10 Radarsat- SAR(1999- 01- 23)

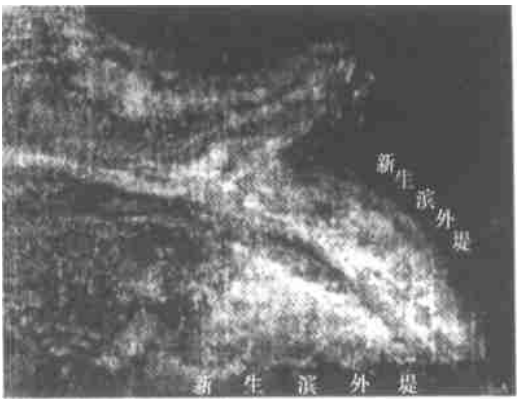

图 11 SAR 与 TM 的复合影像

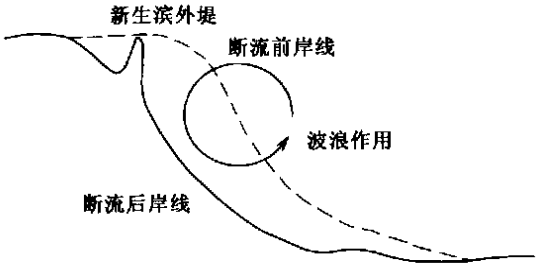

图 12 黄河口沙嘴南侧岸线蚀退模式

1993 年 TM 图像表观了沙嘴向东延伸, 主要入海径流受约于沙嘴以东 0~ - 5 m 的水下地形坡度远大于沙嘴南侧水下地形坡度, 在河口东偏条件下, 致使沙嘴向东延伸.

4.2.3 河口空间场中的沉积动力条件

黄河进入 20 世纪 90 年代, 其断流逐年加大, 清水沟流路形成的河口沙嘴已发育到晚期的背景下, 河口空间场中的沉积动力条件特征表现为: 平均大潮潮差为 164 cm, 平均小潮潮差为 72 cm, 口门外最大潮流流速为 130 cm/s, 潮流流向大致与等深线平行, 同径流入海方向近于垂直, 并具往复流性质. 季节性很强的区域风浪起主要作用, 夏季盛行东南风, 风区短, 波高小; 冬、春季盛行西北—东北风, 风区长, 风力大, 巨大的风浪使底质泥沙再悬浮.

4.2.4 河口悬浮泥沙分布格局

河口沙嘴所处的空间位置以及受季节变化影响的径流量、输沙量和波浪作用等条件的制约, 对此, 多时相的卫星遥感信息表征了反射率较高的河口悬浮泥沙分布的格局是: 夏季丰水期的悬浮泥沙含量分布为近岸高, 在 5 m 水深以内实测到含量高于 40 mg/dm^3 的悬浮泥沙由河口向两侧伸展; 5 m 水深以外深水区逐渐降低. 在枯水期, 虽然强风浪作用使底质泥沙再悬浮, 但其梯度很小, 如 1989 年春季对河口实测结果, 以河口 40 mg/dm^3 的高悬浮泥沙含量呈舌状向东北方向伸展, 在底层可达到 15 m 水深处.

4.2.5 改道点以下河床

由卫星图像上测度出 1976 年 6 月清水沟流路改道点以下河长为 27 km, 到 1995 年 11 月则长为 65.2 km, 年平均延伸达 1.96 km/a.

4.2.6　清 8 人工分汊入海口门后效

1997 年的 TM 图像清晰表征了此前 1 a 汛前实施的清 8 人工分汊工程后效, 入海流路较前缩短了 16.6 km, 形成了规则河槽, 滩沿规则, 河道顺直且呈上窄下宽喇叭形, 河宽 400~1 000 m, 新口门形成的雏形沙嘴向东偏北延伸达 9 km 之多. 同时, 此次人工分汊后在洪水的作用下, 河口段产生了明显的溯源冲蚀.

4.2.7　主槽淤积萎缩和高水位

黄河频繁断流使主槽淤积萎缩、河床不断抬高、水沙运行失调. 在利津站主槽冲淤量占全断面的 100%, 而对三角洲则占 85.3%, 年均淤积 1.80 亿 t; 滩地淤积量占全断面的 14.7%, 年淤积量为 0.31 亿 t. 1996 年 8 月利津站洪水位达 14.7 m, 比 1992 年高出 1.19 m, 流量为 3 220 m^3/s, 据计算该站洪水流量达 1 万 m^3/s 时河口会出现洪水漫滩与河道决口改道.

4.2.8　造陆受到影响

1991 年入海输沙量减少到 4.72 亿 t, 三角洲造陆大幅度减小, 海岸蚀退率已为淤进速率的 1/2, 随着断流加强, 海岸将会出现净蚀退状态.

4.2.9　黄河口北汊河口被侵蚀

对卫星图像测度表明, 1997 年开始北汊河口出现侵蚀, 由于相对河道短、坡降大, 因断流泥沙不能有效地搬运到口门外, 流量也不能达到有效的刷槽, 改变了泥沙分配比, 加重了河床淤积程度.

综观上述, 图 13 显示了黄河口区清水沟流路河势演变的前后过程, 反映了黄河断流对河口区的后效结果.

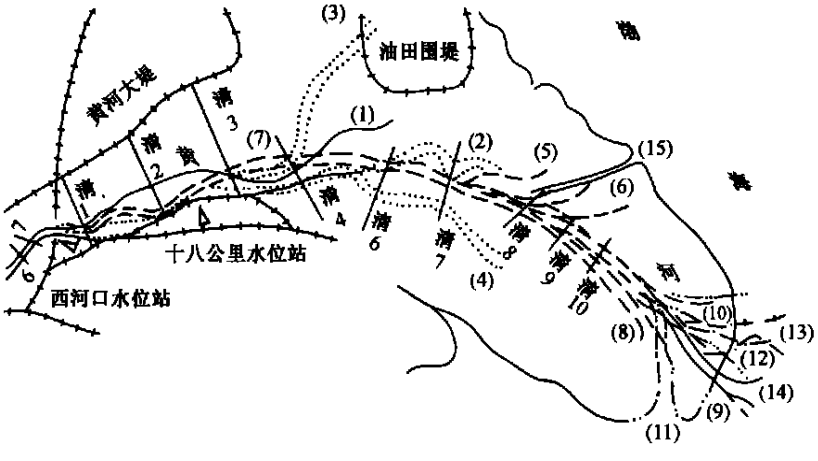

图 13　黄河口区清水沟流路河势演变图[7]

(1) 1976 年 8 月, (2) 1977 年 10 月, (3) 1978 年 10 月至 1979 年 5 月, (4) 1979 年 11 月至 1980 年 7 月, (5) 1981 年, (6) 1983 年, (7) 1985~1987 年, (8) 1988 年, (9) 1989 年, (10) 1990~1991 年, (11) 1992 年 12 月, (12) 1993 年 11 月, (13) 1994 年 7 月, (14) 1995 年 8 月, (15) 1996 年 9 月

4.3　变异中的直观信息

4.3.1　盐碱地增加

1996 年春季 TM 图像表观了东营市高反射率的盐碱地增至 10.34 万 hm^2, 为黄河断流造

成淡水补给不足、海水入侵、矿化度增高所致. 同时, 由于水源断绝, 湿地生态环境退化, 并向沙漠化转移.

4.3.2 植被面积萎缩

近年来根据河口区域范围的植被光谱响应变化, 表明了由于土壤矿化度加重、海水内侵和植被面积逐年萎缩.

4.3.3 入海淡水径流和输沙量的影响

1991~ 1995 年间计黄河断流 336 d, 年均径流量已减到 161.6 亿 m^3; 1980~ 1990 年利津站观测表明, 非汛期黄河水平均含沙量为 9.18 kg/ m^3, 黄河累计断流 509 d, 入海径流减少 317.51 亿 m^3, 而入海输沙量相应减少 28.84 亿 m^3, 具体如表 5 所示.

表 **5** **1980~ 1990** 年黄河利津站水沙特征值

时段	径流总量/ 亿 $m^3 \cdot a^{-1}$	平均径流量/ 亿 $m^3 \cdot a^{-1}$	平均流量/ $m^3 \cdot s^{-1}$	输沙总量/ 亿 t	平均输沙量/ 亿 $t \cdot a^{-1}$	平均含沙量/ $kg \cdot m^{-3}$
汛 期	9 671	242	2 277	335.5	8.39	34.70
非汛期	6 054	151	722	59.4	1.48	9.81
总 计	15 725	393	1 246	394.9	9.87	25.10

4.3.4 入海污染物量的变化

目前仅山东沿黄河两岸直接向黄河排污的较大污染源就有 5 个, 如河口滩区油田即是其中 1 个. 一旦黄河复流后, 大量的污水冲刷入海, 可造成河口附近发生突发性污染. 经计算结果如表 6 所示.

表 **6** **1990~ 1993** 年间黄河污染物减少入海量

污染物	Cu	Pb	Zn	氟化物	BOD^5	挥发酚	氰化物
年均值/ $mg \cdot dm^{-3}$	0.019 6	0.012 3	0.034 9	0.655	2.08	0.002	0.002 5
年减少入海量/ t	44.63	28.00	79.46	1 491.35	4 735.89	4.55	5.69

4.3.5 海水温度、盐度变化

河口水温受径流量、大陆性气候和深浅水区等影响, 黄河断流期入海水量 6 月份前骤减, 图像中幅亮度温度表征了河口与远岸水域水平温差, 较 20 世纪 80 年代相对小了. 据实测, 断流后河口区春季 20 a 前偏低 0.5~ 1.0 ℃; 黄河断流使之外海海水在口门不受径流顶托, 同样导致河口区盐度相应升高, 两者也必然影响到海洋的生产力.

4.3.6 河口 N, P 营养盐变化

与 20 世纪 80 年代中期黄河口综合实地调查计算结果相比, 黄河断流以来以年平均减少入海径流量 13.41 亿 m^3, 使之年减少入海无机氮 2 535 t, 减少浮游植物生产量(湿重) 达 500 000 t. 与此相同的 80 年代中期, 由于黄河径流量影响, 黄河年内向海域排入 1 450 t 的 PO_4-P. 黄河断流 24 a 间, 年平均输送入海的 PO_4- P 减少 44 t, 由此产生连锁影响.

4.4 变异中的隐伏信息

4.4.1 浮游植物

20 世纪 80 年代中期春季的调查结果表明, 叶绿素 a 含量全年高峰达 10~ 20 mg/ m^3, 浮游植物总量平均为 226 万个/ m^3. 现时卫星遥感信息所表征的透明度为 4.3~ 8.0 m, 盐度为 27

~ 31 的河口以南海域. 显然, 黄河断流导致河口区盐度升高、透明度增大, 促使浮游植物生长, 与此同时, 入海径流的减少、相应营养的锐减, 必然制约了浮游植物的大量繁殖.

4. 4. 2　浮游动物

黄河断流导致河口区温度、盐度的变化, 偏高盐的外海种在此增加, 使河口区浮游动物种类多样性有所增高.

4. 4. 3　经济无脊椎动物

每逢春季, 河口及其邻近海域为对虾、鹰爪虾和三疣梭子蟹等生殖洄游、产卵与育幼场. 黄河断流恰好出现于这一时期, 水温降低、盐度升高, 也必然影响上述种群的产卵期、产卵量与成活率, 直接破坏了资源量.

4. 4. 4　经济贝类和海洋鱼类

河口区重要的底栖生物当属最为密集的毛蚶(*Scaoharca subcrenata*), 该地丰富的毛蚶资源量达 20 万 t, 在保持生态平衡的条件下, 年产量最高可为 5 万~ 6 万 t, 系渤海蕴藏量最大的渔场. 径流和入海泥沙的骤减, 直接影响河口毛蚶的浮泥生境区的缩小, 使毛蚶的生产潜力明显降低. 同时, 黄河断流正值 3~ 6 月时段, 导致浅海水温和盐度发生变化, 河口区多种鱼类的数量分布将明显受其影响, 破坏了相关鱼类生存的水域与种间生态平衡. 对此, 现实结果正如图 14, 图 15 所示.

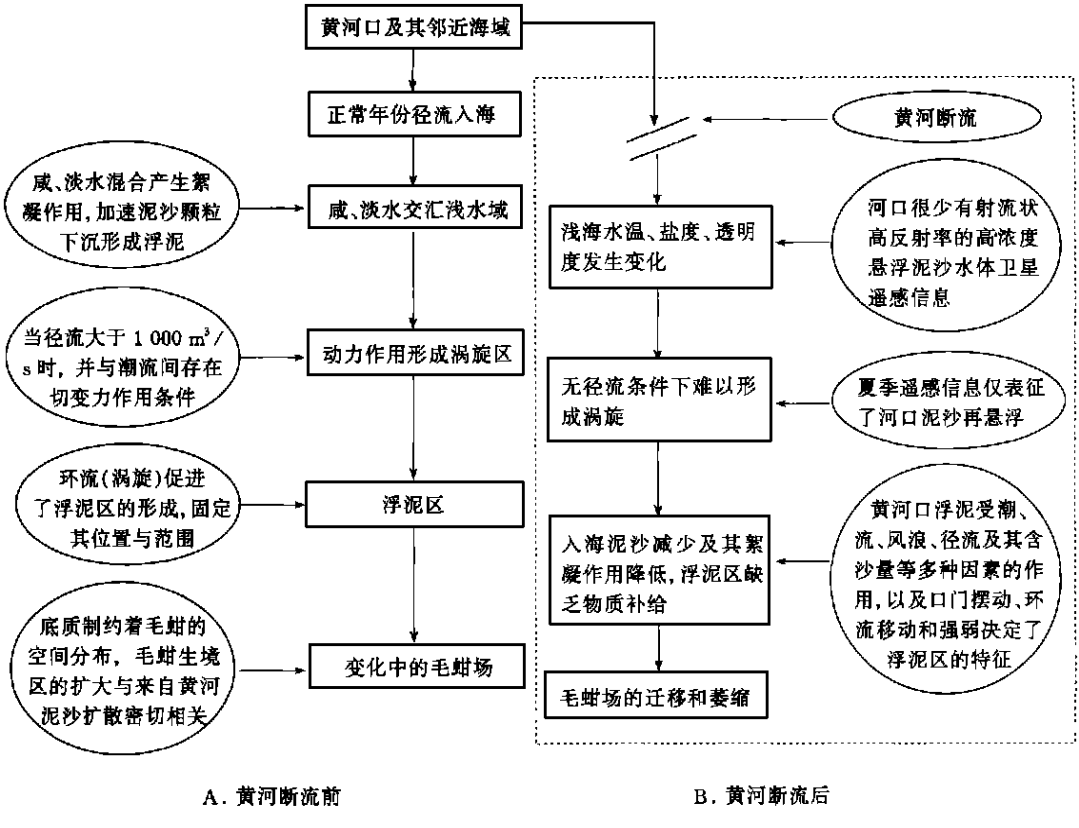

图 14　黄河断流前后河口水域中浮泥区和毛蚶场变异的复合信息系统比较

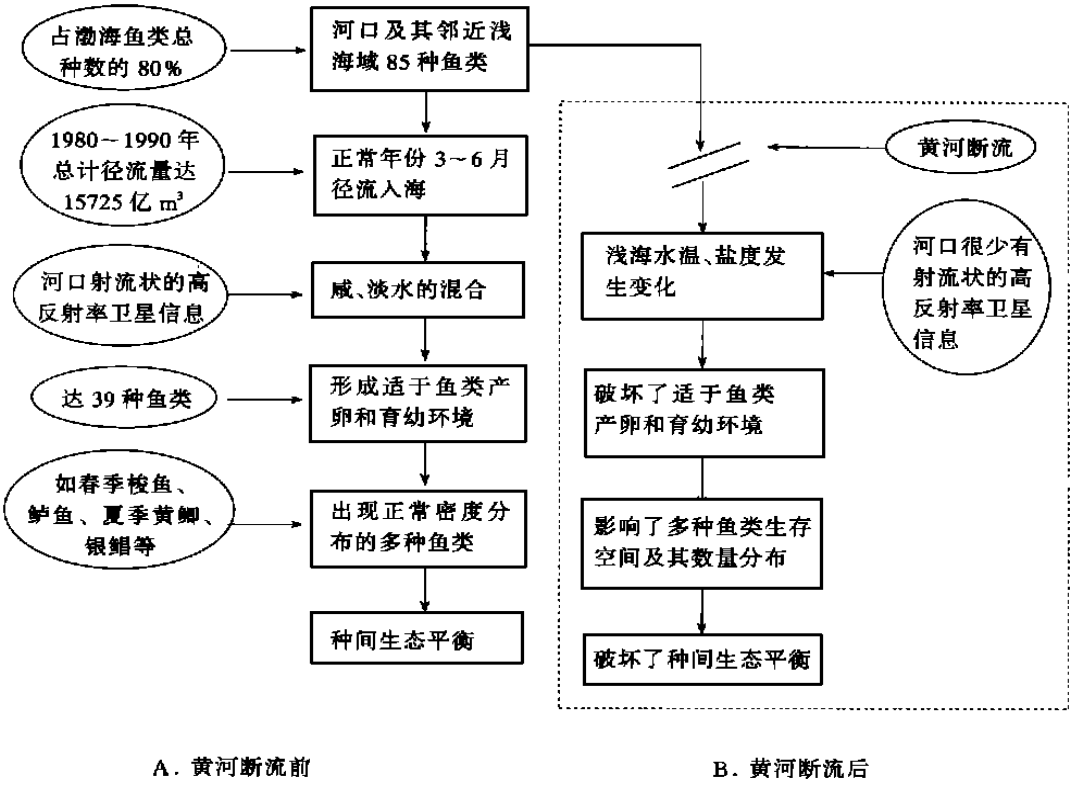

图 15 黄河断流前后河口及其邻近海域的鱼类和生态环境系统比较

5 结语

综上所述可知, 黄河断流导致河口空间场演变的过程中, 相互关联的诸种地理要素, 互有相应的反馈信息, 以此确认出主导因素. 具体表明了河口空间场的地理研究, 采用多时相的遥感复合信息并经过量化, 建立相应的信息系统, 有利于全面研究河口动态和预测问题.

参考文献:

[1] 刘宝银, 王岩峰, 高俊国. 近期黄河口沙嘴演变遥感信息的拓扑模型研究[J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 41~ 47.
[2] 朱庆华. 情报系统[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995. 62~ 136.
[3] 王岩峰, 张 杰, 刘宝银. 黄河口空间演变的遥感复合信息需求分析模型研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 1999, 14(4B): 110~ 119.
[4] 黄河断流成因分析及对策研究组. 黄河下游断流及对策研究[J]. 人民黄河, 1997, 19(10): 1~ 9.
[5] 霍世青, 王怀柏, 彭梅香. 1997 年黄河下游断流情况分析[J]. 人民黄河, 1998, 20(1): 1~ 3.
[6] 李东风, 李泽刚, 张玉青. 清水沟北汊流路入海泥沙对东营港影响的数值分析[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(1): 1~ 6.
[7] 高文永, 张广泉, 姜明星, 等. 黄河河口清水沟流路演变及其治理措施分析[J]. 人民黄河, 1997, 19(7): 7~ 10.
[8] 范兆木, 郭永盛. 黄河三角洲沿岸遥感动态分析图集[Z]. 北京: 海洋出版社, 1992. 7~ 85.
[9] 李 平, 王 涛, 高文永. 黄河清水沟流路稳定分析[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(2): 165~ 171.
[10] 叶青超. 黄河断流对三角洲环境的恶化影响[J]. 地理学报, 1998, 53(5): 385~ 391.
[11] 周永青, 陈宗团. 黄河断流与黄河三角洲环境[J]. 海洋通报, 1998, 17(5): 58~ 63.

[12] 田家怡, 王　民. 黄河断流对三角洲附近海域生态环境影响的研究[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(3): 59~ 65.
[13] 李泽刚. 黄河口近期演变规律及发展趋势预测[J]. 人民黄河, 1996, 18(9): 19~ 21.
[14] 庞重光, 杨作升, 张　军, 等. 黄河口最大浑浊带特征及其时空演变[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 41~ 46.
[15] SETHI V, TENG J T C. Choice of an information requirements analysis method: an integrated approach[J]. Information System and Operational Research, 1989, 26(1): 1~ 16.

The research on the remote sensing composite information of the Huanghe River zero flow aftereffect feedback to its estuary spatial field

LIU Bao-yin[1], WANG Yan-feng[1], HAO Qing-xiang[2]

(1. *First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao* 266061, *China;* 2. *Department of Urban & Resources Science, Nanjing University, Nanjing* 210093, *China*)

Abstract: The evolvement of geographical factors related to the Huanghe River zero flow's aftereffect feedback to its estuary spatial field is discussed. Based on the built estuary evolvement- remote sensing conceptual system, the correlative information basis of the recent estuary evolvement is analyzed. According to the result by the information requirement analysis (IRA) of the research target and the trend surface analysis of underwater geomorphology, the feedback information of the estuary spatial field, the intuitionistic and hidden information in variation are discussed.

Key words: Huanghe River's mouth; zero flow; spatial field; remote sensing; feedback information