

文章编号: 1000-0550(1999)03-0458-06

# 苏北滨海平原全新世沉积物物源研究<sup>①</sup>

## ——元素地球化学与重矿物方法比较

杨守业<sup>1</sup> 李从先<sup>1</sup> 张家强<sup>2</sup>

1(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

2(石油大学, 北京 100083)

**摘要** 运用元素地球化学与重矿物方法对苏北滨海平原全新世沉积物物源进行的比较研究表明, 沉积物形成主要由长江与黄河提供物质来源, 且又以黄河物源为主。全新世早期长江物质对本区影响范围大于黄河, 黄河供给泥沙量较少, 对本区影响主要在北部、中部地区。全新世最大海侵之后, 黄河曾由苏北入海并携带了大量泥沙, 其影响范围明显大于长江, 长江仅由狭窄的汉道提供有限的物质而影响范围较小。最近 2000 年来本区沉积物物源主要由黄河提供。分析表明元素地球化学方法在沉积物物源判别时, 可有效的避免水动力因素影响, 而相对重矿物方法取得较好的效果。

**关键词** 沉积物物源 苏北滨海平原 全新世 元素地球化学方法 重矿物方法

**第一作者简介** 杨守业 男 1971 年出生 博士 沉积学与沉积地球化学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

研究区主要位于废弃黄河三角洲与长江三角洲之间, 北起滨海县废黄河口, 南至如东, 西连里下河湖沼平原, 东直达黄海之滨(图 1)。全新世以来本区形成了厚达 30 m 的冰后期沉积。长江与黄河全新世以来的频繁迁徙对本区全新世沉积物形成与沉积特征具有重要的影响<sup>[1~5]</sup>。本文运用元素地球化学与重矿物方法比较研究了苏北滨海平原区全新世沉积物的物质来源, 揭示长江与黄河对本区的物质贡献大小, 并讨论两种方法在物源判别上的效果。

### 1 全新世沉积特征

根据多个钻孔分析可知本区全新世以来自下而上主要形成了滨海相、近岸浅海相和滨海潮坪相沉积地层, 厚度一般为 15~30 m。

滨海相位于晚更新世末期形成的古土壤层(硬土层)之上, 由粘土质粉砂或粉细砂构成, 夹有贝壳、泥炭层。有孔虫大小混杂, 主要为 *Ammonia beccarii* var., *Epistominella naraensis*。本层厚度一般为 4~5 m。在沿南孔埋深 19.90 m, 25.1 m 和 25.6 m 处的<sup>14</sup>C 测年分别为 10025 ± 310、11220 ± 380 和 11780 ± 3700aBP。

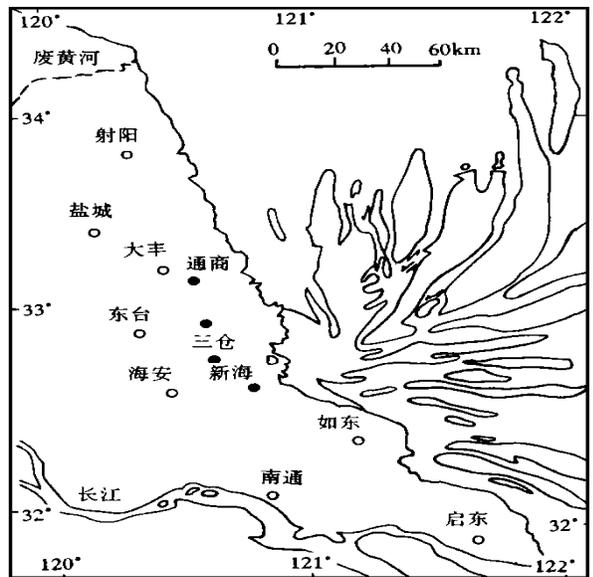


图 1 研究区位置及钻孔分布图

Fig. 1 Location of the study area and boreholes

近岸浅海相由灰色细砂、粉细砂及粘土质粉砂构成, 细砂含量大于 40%, 粘土含量小于 20%。发育脉状层理、双向交错层理、递变层理等。有孔虫以广盐性小个体属种为主。本层一般厚 8~18 m, 与下伏滨海相呈突变接触关系, 底部具侵蚀面, 王港闸

① 同济大学海洋地质开放实验室及国家自然科学基金资助项目(编号: 49676288)

收稿日期: 1998-04-22 收修改稿日期: 1998-08-11

孔<sup>14</sup>C测年为 $4\,290 \pm 150$ aBP(埋深18.4 m)<sup>①</sup>。该层为典型的潮汐成因的砂体,据研究认为它同南黄海辐射沙洲的沉积特征及成因一致,属于苏北南黄海潮成砂体沉积体系的一部分<sup>[1]</sup>。

滨海潮坪相位于本区全新世沉积的上部,由粘土质粉砂和粉砂质粘土构成,发育一些脉状层理及波状层理等。50克干样中有孔虫含量达到2 000多枚。该层一般厚5~8 m,与下伏层呈渐变关系。在本区西部地区该层上覆滨海湖沼沉积。

## 2 研究样品与研究方法

重矿物组合判别沉积物的物源是一种简单常用的方法,但由于受水动力因素及稳定性影响而使其所反映的物源信息量降低许多,而出现物源判别上的错误<sup>[6]</sup>。利用元素地球化学方法进行沉积物物源研究已取得了较好的效果<sup>[7-10]</sup>。利用同粒级全岩样,并选择那些在沉积物形成过程中较稳定的元素作为物源指示元素,可有效的避免水动力因素的影响而尽可能的突出物源信息。一般认为粘土及粉砂粒级全岩样最能反映沉积物物源区的物质组成特征<sup>[9,11]</sup>。本文比较分析两种方法在物源判别上的运用效果。

由于本区全新世沉积物形成主要受长江与黄河的影响,因此作者首先研究了长江与黄河沉积物的特征元素与重矿物组成,发现两者的元素组成具有明显的差异。除Na、Ca、Sr、Zr、Hf而外,长江沉积物比黄河沉积物富集绝大多数常量及微量元素,尤其是Sc、Ti、Fe、Al、Ga、V、Cu、Ni、Co、Cr等元素在两者中差异非常显著(表1),它们可作为长江与黄河沉积物的指示元素而用来示踪长江与黄河沉积物。长江与黄河沉积物的特征重矿物组成也存在不同,长江特征的标型重矿物为蓝晶石、黄玉、铁饼状楣石等,而黄河为浑圆状磷灰石及浅色电气石等。重矿物分析时未统计那些受水动力影响明显的片状重矿物,自生矿物也未计算在内。在分析时采用重矿物物源判别指数法来尽量抑制水动力因素的影响<sup>[1]</sup>。

选择苏北滨海平原区四个代表性的钻孔进行全新世沉积物的物源分析。由北向南分别为通商、东套、三仓及新海孔。自四个钻孔的不同沉积相中分别选取了18, 8, 22和21个样品进行分析,所有样品运用沉降法提取出小于0.063 mm粒级供元素分析,而相对应的0.063~0.125 mm的粒级样则进行了重矿物分析。元素分析采用ICP-AES方法,标

样及重复分析表明分析相对误差小于10%。

## 3 结果与讨论

元素分析结果如表1。分析表明每个钻孔沉积物中元素含量具有明显地规律性变化。将每个钻孔沉积物中90%以上元素含量相对偏差小于10%的相邻层位放在一起以平均值来表示元素含量,而将绝大多数元素含量相对偏差大于20%的层位单独列出。

### 3.1 通商孔

从表层至埋深17 m(编号TS1,下同),元素丰度差异较小,且多数元素丰度小于长江与黄河沉积物中的值,但Fe、Al、Zn、Co、Ni、Be、Sc、La、Ce、Y等多元素丰度与黄河沉积物中的非常接近,相对偏差小于10%,而明显地偏离长江沉积物中元素丰度大小,相对偏差一般大于20%,介于12.77%~68.78%。埋深17 m向下的下部沉积物(TS2)中元素丰度比上部沉积物中偏高,Al、Cr、Ga、V、Nb、Sc、Cu、Ti等元素丰度接近黄河沉积物中元素组成,而Fe、Zn、Co、Ni、Be、La、Ce、Y等元素丰度大小则更接近于长江沉积物。因此可以推测通商孔全新世沉积物主要来自黄河物质贡献,下部滨海相元素组成反映出长江与黄河物质的共同影响。重矿物分析也揭示出相似的物源特征。该孔的重矿物组合出现浑圆状磷灰石及浅色电气石等黄河源指示矿物,而长江源的指示重矿物则很少见,仅在下部少量出现(表2)。

### 3.2 东套孔

从表层至埋深13.5 m左右沉积物(DT1)元素丰度同通商孔上部沉积物中非常接近,而埋深13.5 m向下至18.09 m沉积物(DT2)则同通商孔下部沉积物这元素丰度一致(如表1),这表明两个孔的沉积物物源基本相同,即均以黄河源为主,而在下部以滨海相为主的沉积中长江物质影响明显,且从通商孔向南至东套孔长江物质影响的层位增高,影响范围增大。该孔的重矿物分析也表明上部沉积物主要为黄河源,而下部则为长江与黄河混合源,但与元素地球化学方法所得结论不同在于不同物源所影响的深度上。

### 3.3 三仓孔

从表层至埋深7 m之间沉积物(SC1)元素组成

① 王颖,1993 江苏王港建港条件可行性研究报告。

表 1 苏北滨海平原全新世沉积物的元素组成

Table 1 Elemental compositions of Holocene sediments in Subei coastal plain

样品名	TS1	TS2	DT1	DT2	SC1	SC2	SC3	XH1	XH2	CJ	HH
深度/m	0~17.0	17~18.5	0~13.5	13.5~18.1	0~7.0	7.0~16.5	16.5~20.5	0~13.0	13~26.7	表层	表层
FE	3.39	4.94	3.38	4.21	3.39	5.06	4.32	3.24	7.31	4.98	3.33
AL	9.39	9.31	9.02	11.06	8.55	10.54	10.27	9.13	12.22	11.58	9.80
ZN	59.09	91.54	61.65	82.85	94.11	129.6	76.53	59.90	119.6	96.24	63.40
CO	9.06	13.93	9.49	11.26	9.72	16.02	11.66	9.39	19.74	17.11	9.62
NI	24.95	37.25	24.86	31.42	26.17	44.93	31.16	24.52	54.25	39.21	25.77
CR	57.56	66.91	59.26	73.15	60.39	84.96	69.44	61.16	94.38	98.18	66.93
GA	13.06	15.84	13.34	15.83	14.61	19.52	16.69	14.25	21.42	23.14	14.96
V	85.99	99.86	85.34	107.5	85.24	129.4	104.2	85.62	151.3	142.8	108.3
NB	10.15	11.48	10.43	12.35	10.57	14.22	12.51	10.75	16.22	20.79	13.14
BE	1.66	1.94	1.64	1.98	1.62	2.26	1.89	1.65	2.58	2.01	1.56
CU	14.93	16.79	12.28	19.97	76.56	69.96	20.21	11.21	21.68	30.22	17.05
SC	8.50	9.63	8.52	10.92	9.08	11.57	10.06	8.00	13.99	11.53	8.35
TI	3 058	3 396	3 306	3 885	3 397	4 083	4 016	3 407	4 745	4 879	3 882
LA	30.69	34.13	35.92	36.90	35.14	38.26	39.93	35.61	45.14	35.02	28.64
CE	55.79	59.39	64.82	66.65	60.32	68.46	70.79	62.7	79.62	64.09	54.41
EU	1.07	1.28	1.22	1.25	1.16	1.34	1.35	1.19	1.58	1.28	1.04
Y	21.04	23.91	23.67	24.24	23.03	24.65	25.69	23.46	28.83	23.91	21.69

注: 1、TS, DT, SC, XH 分别表示通商孔, 东套孔, 三仓孔及新海孔。CJ 及 HH 分别表示长江与黄河沉积物元素组成的平均值。

2、FE、AL 元素丰度以氧化物 wt% 表示, 其他元素丰度单位为  $\times 10^6$ 。

表 2 苏北滨海平原全新世沉积物的碎屑矿物特征

Table 2 Detrital mineral compositions of Holocene sediments in Subei coastal plain

钻埋 孔深 位置	埋深 /m	样 品 数	重 矿 物 / %								指示矿物		
			闪 石 类	帘 石 类	磁 铁 矿	钛 铁 矿	褐 铁 矿	石 榴 石	楣 石	变 质 成 物	暗 轻 矿 色 物	长 江 源	黄 河 源
通 商	0.00~5.30	3	50.2	35.8	0.57	1.70	9.12	0.91	1.01	0.00	10.5	—	+++
	5.30~16.5	13	51.3	37.8	0.96	2.77	3.16	1.61	1.41	0.03	12.1	—	+++
	16.5~18.5	2	51.6	40.0	0.24	2.21	3.06	1.39	0.82	0.00	12.7	+	++
东 套	0.00~12.04	5	57.0	26.6	0.61	1.61	9.41	0.50	0.68	0.18	13.3	—	+++
	12.04~18.09	3	54.1	30.6	1.89	6.03	2.02	0.82	1.56	0.30	16.9	++	++
三 仓	0.00~6.70	5	54.9	20.3	0.32	1.34	15.86	2.21	2.35	0.20	8.4	—	+++
	6.70~14.2	9	48.4	31.5	0.71	1.73	2.31	3.94	4.87	1.67	11.1	++	+
	14.2~20.45	8	51.7	25.7	1.22	4.60	1.35	2.91	4.08	1.82	14.3	++++	—
新 海	0.00~5.00	2	47.9	41.9	1.02	1.88	4.46	0.66	1.42	0.00	18.4	+	+
	5.00~23.0	15	50.3	36.4	1.88	3.00	1.96	1.36	2.15	0.45	21.5	++++	—
	23.0~26.7	4	42.2	35.5	4.16	9.67	0.99	1.99	2.89	0.49	21.7	++++	—

注: +++ 常见, ++ 较常见, + 不常见, — 罕见

同通商孔及东套孔上部沉积物中一样,也反映出其主要为黄河物质来源。而从埋深 7m 至 16.5m 左右沉积物(SC2)中元素丰度明显地高于上部沉积物, Fe、Al、Zn、Co、Ni、Cr、Ga、V、Nb、Be、Sc 等元素丰度在下部与上部沉积物中的相对偏差在 21% 至 50% 之间,表明它们在元素组成上存在显著差异,且这些元素丰度同长江沉积物中元素丰度非常接近, Fe、Al、Co、Ni、Cr、V、Be、Sc、La、Ce、Y 等元素丰度在两者中相对偏差均小于 15% (0.4% ~ 14.4%),而同黄河沉积物相比偏差达 17.8% ~ 121.6%,表明这些沉积物显然来源于长江而非黄河。在这之下的滨海相为主的沉积物(SC3)中绝大多数元素丰度则比其上长江源沉积物中低,而高于最上部黄河源的沉积物,且与通商孔、东套孔下部滨海相沉积物中元素丰度一致,反映出它们具有相同的物质来源,即长江与黄河的混合物源。本孔的重矿物分析所揭示的物源与元素地球化学方法不完全相同,表层同样反映出黄河源,但中部却为长江为主的混合源,下部为长江源,与根据元素地球化学方法所得出的结论刚好相反。这可能与在滨海及滨浅海环境中水动力对重矿物强烈的分选作用而使不同物源的重矿物相互混合,使得物源判别时出现偏差。

### 3.4 新海孔

同上述三个孔上部沉积物一样,在新海孔上部沉积物中(13 m 之上, XH1)元素丰度与黄河沉积物中元素组成相近,反映了黄河的物质贡献,不同的是下部沉积物(13 ~ 26.7 m, XH2)中元素丰度同三仓孔中部样一样,均接近于长江沉积物的特征元素组成,表明其物质来源于长江。而重矿物分析又得出了不同的结论,上部仅表层沉积物为混合源,下部近岸浅海相及滨海相沉积物为长江源,长江源影响的层位明显的高于根据元素组成所得出的深度。

对苏北四个钻孔沉积物元素组成运用聚类分析方法可以有效地区别它们(图 2), TS1、XH1、DT1 等样品可与黄河平均值 HH 聚合成一类,表明它们具黄河物源;而 XH2、SC2 等样又可与长江平均值 CJ 聚合成一类,反映了这些物质来源于长江的贡献;剩余的其它样品则可另外聚合成一类,它们介于黄河源与长江源之间,具有混合源的性质。其中 SC1 虽然也被聚入混合源,但其元素组成更接近黄河源。

综上所述可揭示出长江与黄河物质对苏北滨海平原区全新世沉积物形成的物质贡献(图 3)。由图 3 可知黄河对本区影响深远。冰后期海侵开始之初

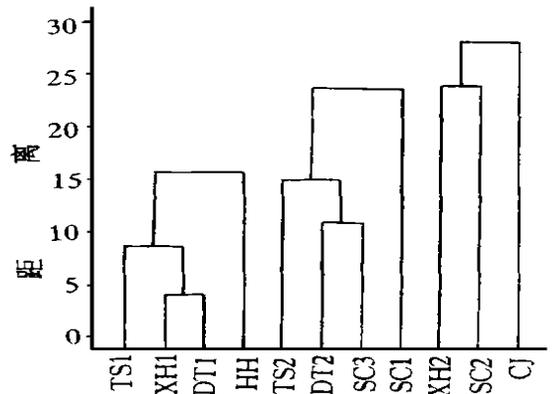


图 2 苏北滨海平原全新世沉积物聚类判别分析

Fig. 2 Cluster analysis of Holocene sediments in Subei coastal plain

(约 11 000aBP), 黄河物质便已影响现苏北滨海平原北部与中部地区,直达三仓一带,这同耿秀山、任美镠、吴世迎等人根据海底地形、浅钻分析、沉积学分析等所得的结论一致<sup>[12~14]</sup>。但当时黄河物质贡献并不甚丰,很可能古黄河当时并未直接从苏北平原入黄海,而物质主要是由渤海入北黄海再扩散至南黄海而影响本区,且由于当时气温仍偏低,黄河泥沙较少而使得扩散至本区的泥沙更少,因而影响范围有限。同时期三仓以南地区主要为长江物质影响区,且长江物质影响范围明显大于黄河物质,几乎遍及整个苏北地区,但向北影响力渐弱。据分析晚更新世末期长江古河道可能比现今主河床偏北,经西堰—白葡—一线入海<sup>[15]</sup>。在 6 000aBP 左右,苏北地区发生冰后期最大海侵<sup>[16]</sup>,当时黄河也曾曾在苏北入海并形成许多沙洲<sup>[3]</sup>。当时气温也明显偏高,降雨丰富而使得黄河含有丰富的泥沙而堆积在苏北广大地区,并发育苏北潮成砂体。其时长江入海口远在镇江、扬州一带,主河道也明显南偏,但长江北汉道却在苏北海安、三仓、袁港一带向东北入海<sup>[16]</sup>,因而在三仓地区形成长江源的近岸浅海沉积,但据地质雷达推测当时河道狭窄且深度在一、二十米之间<sup>[17]</sup>,输沙量远无法与同时期黄河相比,因此其时长江物质影响范围也有限。苏北潮成砂体的主要物源应为黄河,局部地区以长江供给为主。而在近 2500 年来黄河下游河口更是多次改道,一般认为至少 6 次在苏北入海,如公元 11 年、1048 年、1128 年等<sup>[15]</sup>,尤其是在公元 1484 年至 1855 年黄河全流入黄海以来,更是携带了巨量泥沙,使苏北岸线迅速东移,苏北黄河三角洲迅速发育,而同时期长江主流更

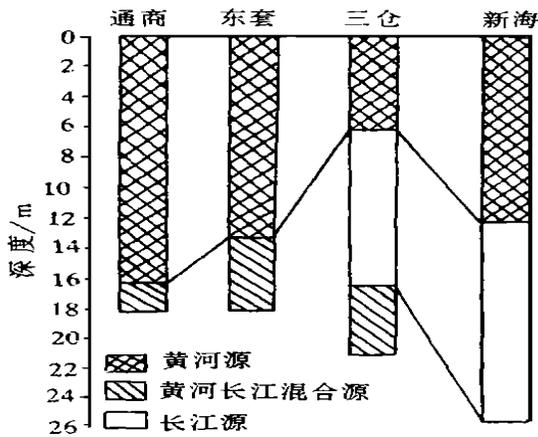


图 3 苏北滨海平原全新世沉积物源示图

Fig. 3 Schematic diagram of Holocene sediment sources in Subei coastal plain

为南移, 长江物质对本区影响甚小, 苏北滨海平原成陆过程主要由黄河物质所控制。而在 1855 年之后至今, 随黄河北归, 苏北岸线处于调整阶段, 长江与黄河对苏北滨海平原发育的直接影 响已很小。

## 4 结论

(1) 元素地球化学与重矿物分析表明苏北滨海平原全新世沉积物形成主要由长江与黄河提供物质来源, 且以黄河物质为主。

(2) 冰后期海侵之初, 长江物质对本区影响要大于黄河, 其时黄河物质主要经南黄海影响本区而非直接由苏北入海, 且泥沙量较小。而在冰后期海侵达最大之后, 黄河曾由苏北入海并供给了大量泥沙, 影响了几乎整个苏北滨海平原区的沉积, 而长江仅狭窄的北汊道由海安、三仓、琼港一线入海, 对本区影响有限。

(3) 最近 2000 多年来的苏北滨海平原区沉积物物质来源主要由黄河供给, 长江主流已南移而对本区物质贡献很小。

(4) 元素地球化学方法相对于重矿物方法在进行沉积物物源判别时可取得更好的效果, 因为它可

以有效地避免水动力因素的影响而突出沉积物的物源意义。

## 参 考 文 献

- 1 李从先, 张家强, 杨守业等. 苏北陆上潮成沙体的特征与古环境演化[J]. 中国科学, 1998, 28(5): 418~424
- 2 陈希祥. 苏北黄淮平原全新统沉积特征[J]. 地层学杂志, 1989, 3: 213~218
- 3 赵全基. 河流对江苏海岸发育影响[J]. 海洋科学, 1992, 3: 53~55
- 4 张毅. 江苏省海岸沉积物来源及其矿物特征[J]. 海洋科学, 1990, 4: 34~41
- 5 张忍顺. 苏北黄河三角洲及滨海平原的成陆过程[J]. 地理学报, 1984, 2: 173~184
- 6 Morton A C. Heavy minerals in provenance studies. In: Zuffa G G, ed. Provenance of Arenites[C]. Reider, Dordrecht, 1985, 249~277
- 7 Garver J I, Royce P R, Smick T A. Chromium and Nickel in shale of the Taconic Foreland: A case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source[J]. J. Sedi. Res., 1996, 66(1): 100~106
- 8 Wronkiewicz D J, Condie K C. Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-area weathering and provenance[J]. Geochim. Cosmochim. Acta., 1987, 51: 2401~2416
- 9 Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. Longman Scientific and Technical, 1993.
- 10 Grigsby J D. Chemical fingerprinting in detrital ilmenite: a viable alternative in provenance research? [J]. J. Sedi. Petrol., 1992, 62(2): 331~337
- 11 Cullers R L, Barret T, Carlson R, et al. REE and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment[J]. Chem. Geol., 1987, 63: 275~297
- 12 耿秀山. 中国东部陆架古河系[J]. 海洋科学, 1981, 2: 21~26
- 13 任美鄂, 史运良. 黄河输沙及其对渤海、黄海沉积作用的影响[J]. 地理科学, 1986, 6(1): 1~10
- 14 吴世迎. 黄海沉积特征的综合研究[J]. 海洋学报, 1981, 3(3): 460~471
- 15 严钦尚. 长江下游晚更新世以来河道变迁类型与机制[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1983, 2: 341~350
- 16 陈报章, 李从先, 业治铮. 冰后期长江三角洲北翼沉积及环境演变[J]. 海洋学报, 1995, 17(1): 62~75
- 17 李从先, 万明浩, 陈庆强. 苏北沿南—三仓地区的古河谷及其地质意义[J]. 科学通报, 1996, 41(23): 2168~2170

# Provenance Study of Holocene Sediments in Subei Coastal Plain

## —Comparison between elemental geochemistry and heavy mineral methods

YANG Shou-ye<sup>1</sup> LI Cong-xian<sup>1</sup> ZHANG Jia-qiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Laboratory of Marine geology, Tongji University, Shanghai 200092)

<sup>2</sup> (University of Petroleum Beijing 100083)

### Abstract

Element geochemical and heavy mineral methods are applied to study provenance of Holocene sediments in Subei coastal plain. Based on core analyses, that sedimentary strata developed in Subei coastal plain during Holocene mainly include littoral facies, offshore-neritic facies and tidal flat facies from the lower part to the upper part. The authors firstly researched elemental and heavy mineral compositions of the Changjiang and the Huanghe sediments, and study shows there are obvious differences between both sediments. Some elements and heavy minerals can be applied to trace the Changjiang and the Huanghe sediments and study the diffusions and mixture of both rivers in coastal zones. And then, elemental and detrital mineral compositions of Holocene sediments from four drilling cores in Subei coastal plain are determined in detail. Analyses reveal that the Huanghe River is the dominant provenance and supplied more matters for formation of Holocene sediments than the Changjiang River. During early Holocene, influence of the Changjiang matter exceeded that of the Huanghe matter. After the maximal transgression in Holocene, the Huanghe River arrived the South Yellow Sea and carried abundant sediment, and the Changjiang River supplied limited matter by a narrow distributary and its influence was small. During the last two thousand years, sediments of this area were mainly from the Huanghe River. Study also shows that elemental geochemical method is more useful than heavy mineral method in provenance discrimination because the former can effectively avoid the influence of hydraulic sorting.

**Key words** provenance Subei coastal plain Holocene elemental geochemistry heavy mineral