

我国南北方三角洲体系沉积特征的对比

李从先 陈刚 孙和平

(同济大学海洋地质系)

内容提要 根据我国南北方三角洲沉积的特点,提出三角洲沉积体系的共性和特殊性。三角洲的共性包括基本相带的分布,垂直层序和海进河床充填层序;特殊性则是指三角洲砂体的组合、某些相指标,三角洲发育速度和改造程度。海进时溯源堆积在古河谷内形成了海进河床充填层序,而涨潮流和溯源堆积使该层序含某些海陆过渡相特征。南北方河流对已形成的三角洲层序改造程度有明显差异,这是由于南北方构造和气候条件不同所致。

主题词 三角洲沉积体系 砂体分布模式 海进河床充填层序 三角洲层序改造程度

第一作者简介 李从先 男 49岁 教授 海洋地质学

本世纪70年代是国外三角洲沉积研究的全盛时期,每年发表论文30—40篇,相继出版多本专著和论文集^[17—19]。1975年以来,特别是进入80年代,三角洲沉积的研究远不及七十年代前半期活跃,而且内容大多涉及三角洲某一沉积相的深入研究。此外,也有较多的论文讨论扇三角洲沉积^[20, 21, 1]和海进河床充填层序^[2, 3]。1984年国际沉积学会在一个文件中提出进行全新世三角洲沉积的对比研究,三角洲沉积的研究似乎可望有一个新的发展。我国三角洲沉积的研究较国外迟一段时间,70年代后期以来相继提出了若干专题研究报告和论文,分别介绍了长江三角洲^[4, 5],珠江三角洲^[6, 7],黄河三角洲^[8, 9],滦河三角洲^[1]和南流江三角洲所进行的工作。此外,对布哈河^[10],南泗河^[11],赣江^[12],抚仙湖和洱海的湖泊三角洲也作了大量工作。这些研究为我国沉积矿产的勘探和开发提供了沉积模式和对比依据,同时也为我国南北方现代三角洲在不同地质构造、气候及水动力条件下沉积和发育的共性和差异,有助于从古三角洲沉积中提取地质信息,以识别古地理环境和预测沉积相带分布的规律。

一、三角洲的共同性和特殊性

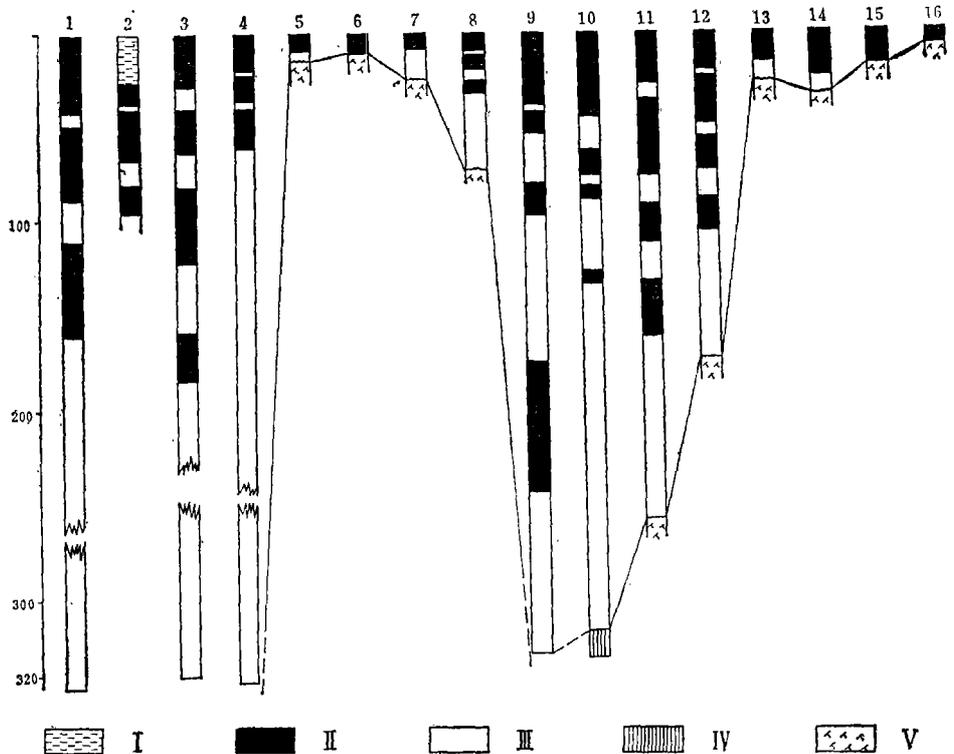
要进行我国南北方三角洲沉积的对比,首先需了解三角洲的共同点和特殊性。根据目前国内外现代三角洲沉积的研究,三角洲的共同性主要取决于河口水流的变化。河口水流的变化造成了三角洲基本相带分布格局和三角洲垂直层序的相似性;海侵时基面抬高所引起的回水和溯源堆积产生了海进河床充填层序。它们是南北方三角洲所共有的,

• 中国科学院科学基金资助的课题。

是识别地层中河口三角洲的主要依据。然而在这些共同性中也包含特殊性的因素。

三角洲的千差万别是公认的，我国南北方三角洲的差别就更加明显（表1），其产生的原因可以分为水动力因素、地质构造和气候条件等三类。河口地区河流、波浪和潮汐是参与三角洲发育的三种主要因素，依据它们的相对强弱，三角洲可以分为河流型、波浪型和潮汐型，我国黄河、滦河和长江三角洲可以分别作为它们的代表，介于它们之间尚有许多过渡类型。科尔曼通过世界数十个三角洲的参数对比和计算，所得出的三角洲砂体分布的六种基本模式^[3]，仍没有包括我国长江三角洲这种类型。

区域构造的活动性决定三角洲垂向叠加的可能性。在我国华南上升区，沿海通常只有一个海相沉积层，因而只能发育一个三角洲层序。而在构造沉降的华北、苏北和长江三角洲地区已发现4—5个海相层（图1），因而三角洲有多次叠置的可能性。在构造迅速沉降的地区，全新世即出现三角洲垂向叠置的现象^[18]。此外，构造上升区的大多为短源河流，物源近、颗粒粗，从而使粘土矿物、微量元素、有机质含量等发生变化。



I 海水 II 海相层 III 陆相层 IV 第三纪的固结沉积岩 V 基岩

- 1. 辽南25孔 2. 渤中12孔 3. 南堡孔 4. 海兴16孔 5. 大连湾孔 6. 荣城孔
- 7. 胶州湾孔 8. 连云港孔 9. 黄尖孔 10. Bg72孔 11. 面粉厂孔 12. 温黄孔
- 13. 汕头孔 14. 桢板孔 15. 南流江孔 16. 犀3孔

图1 我国沿岸沉湖带和隆起带第四纪厚度和海陆相层分布

Fig. 1 Distribution of Quaternary marine and terrestrial formation and thickness in coastal upwarped and downwarped zones of China

气候因素能直接影响三角洲某些沉积相的特征。例如,处在南亚热带的广西南流江三角洲,其三角洲平原的泥炭层由红树等木本植物构成,长江三角洲的泥炭中芦苇残体往往占重要比例,位于北温带的滦河三角洲的泥炭则主要由草本植物构成。某些自生矿物,如海绿石主要产于亚热带地区,而在北温带地区尚未发现。气候的差异使我国南北方三角洲的发育速度和改造程度亦有明显的区别。

我国南北方河口三角洲能够参与对比的主要沉积特征示于表1。鉴于其他问题已有详细研究,本文将着重讨论我国南北方三角洲体系共性中的海进河床充填层序及个性中的发育和改造程度。

表1 我国南北方三角洲的对比

Table 1 Correlation of the delta systems in South and North China

	特 征 和 表 现	产生的因素	意 义
共 同 性	三角洲基本相带的分布 三角洲垂直层序 海进河床充填层序	河口水流 河口水流 回水和溯源堆积	
特 殊 性	三角洲类型和砂体分布模式 三角洲垂向叠置和若干相指标 三角洲相指标、发育速度和改造程度	潮汐、波浪和河流 的相对关系 构造运动 气候条件	预测砂体 认识三角洲的空间分布 三角洲发育的古地理环境

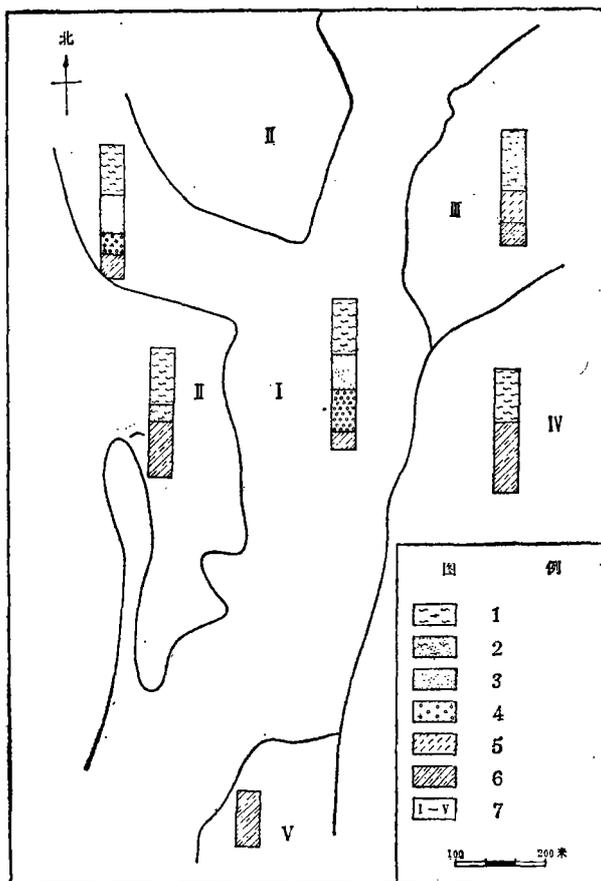
二、南北方海进河床充填层序的特征和沉积过程

1. 海进河床充填层序的特征

在沿海平原的古河谷区,三角洲层序通常下伏海进河床充填层序,二者逐渐过渡,构成统一的海进海退层序。海进河床充填层序底部有冲刷面,下粗上细,向上逐渐过渡为泥质沉积,上覆前三角洲和浅海相泥质沉积。海进河床充填层序与正常河流层序相似,但又有不同,主要表现在其中往往含海绿石、有孔虫壳体等,它们的丰度和分异度自下而上和自陆向海逐渐增加。此外,该层序的形成过程和时间亦不同于河流层序。海进河床充填层序的形成部位、动力和过程也有别于三角洲层序。

海进河床充填层序分布相当广泛,曾先后在长江、滦河和南流江三角洲地区的古河谷内发现,在沿岸地带的非三角洲地区、曾经为古河谷的地区也可见到,如山东的桃园砂咀^[12],冀东的七里海泻湖等^[13]。广西防城湾的大量钻孔揭示,水下也保存着清楚的海进河床充填层序(图2)。

若以长江、滦河和南流江三角洲为例,依据海相因素影响的程度,可以将海进河床充填层序分为三种类型:长江三角洲沿海地带海相因素的影响最强,在海进河床充填层序的中上部,甚至下部也可发现有孔虫壳体;长江三角洲顶部地区海相标志仅出现在该层序的上部,而在滦河三角洲沿海地带的海进河床充填层序中海相因素影响的程度与长



1.海相淤泥 2.海相泥质砂 3.砂层 4.砂砾层 5.风化壳 6.基岩
7.五种层序类型

图2 防城港冰后期沉积层序类型

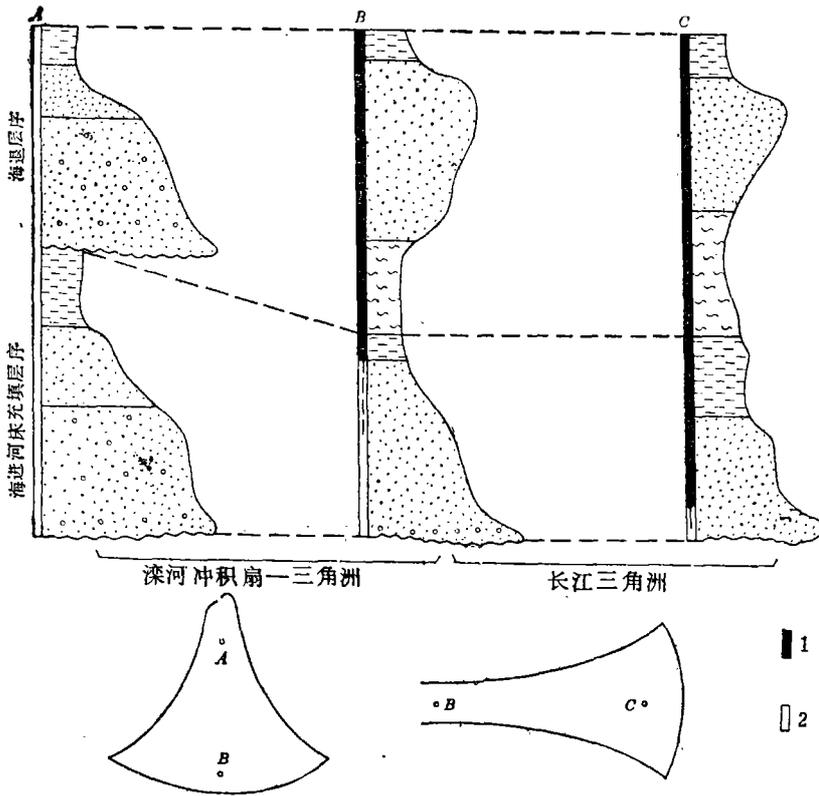
Fig. 2 Patterns of postglacial sedimentary sequences in the Fangcheng estuarine area, Guangxi

江三角洲顶部地区相近；滦河扇三角洲的顶部地区形成不含海相标志的海进河床充填层序，但其层位、时代及形成过程可与含海相标志者对比（图3）。

由长江和滦河的实例可知，海进河床充填层序仅保存在河流出山口后的平原地区，长江在仪征县以东，滦河在滦县以南。山口以上，海进河床充填层序不复存在，仅出现一个正常的河流层序。这可能由于山口以上河床狭窄、水流强烈改造所致。由滦河的实例可知，不含海相标志的海进河床充填层序分布较含海相标志者长的多，前者长45—50 km，后者仅15—20 km。然而南流江三角洲的后缘即为单一的正常河流层序，与滦河扇三角洲显著不同。

2. 影响海进河床充填层序形成的因素

现代三角洲地区海进河床充填层序是在冰后期长周期的海面上升叠加了短周期的潮汐涨落的情况下形成的。要认识海进河床充填层序的沉积过程，必须了解基面变动时回水、溯源堆积，涨潮流和海水在河口的入侵以及沉积物的溯源搬运等问题。



1·含海相微体化石层位 2·不含海相微体化石层位
图3 长江三角洲和滦河扇三角洲地区海进河床充填层序系列

Fig. 3 Series of transgressive channel-filling sequences in the Yangtze delta and the Luohu fan-delta

A. 回水和溯源堆积

入海河流的基面抬升时，必然产生回水，致使水面比降减小，甚至产生逆坡降。比降减小，流速降低导致沉积物在下游河床沉积。水槽试验表明，这种堆积作用将溯河而上逐渐传播，称为溯源堆积。当这种沉积作用达到稳定之时，溯源堆积的距离超过回水的范围。对于狭窄的河口前者为后者的1.5—2.0倍，宽阔的河口，前者为后者的4—5倍^[14]。黄河三角洲多年的观测和测量表明，三角洲的堆积前展使基面抬高，引起回水和溯源堆积。溯源堆积的距离约130公里，而回水则不足30公里，前者为后者的四倍多^[8、9]。

回水影响的距离取决于水面比降，以长江为例，其水面比降为1/10万—1/20万，在现代潮汐涨落的幅度内（3—4米），回水应在300—400km以上。应当指出，潮汐涨落虽能引起回水，但由于时间太短，堆积迅速为冲刷所代替，因而难以形成沉积层序。只有长期定向的基面抬升才能使溯源堆积产生沉积层序。

B. 河口地区涨潮流和海水的入侵

为认识海进河床充填层序中海相标志的分布和变化，笔者于1980、1982、1983、

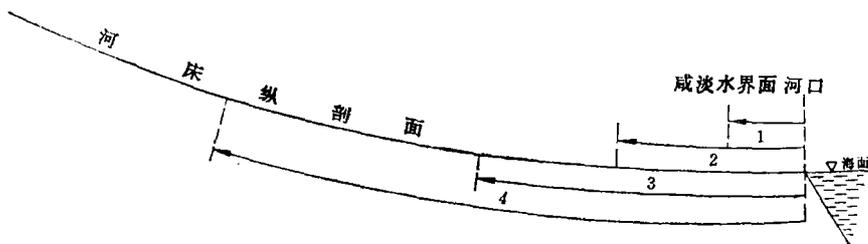
1985年在长江、南流江和钱塘江河口地区进行了水文泥沙观测和河床沉积物采样分析。结果表明施测期间，枯水大潮时长江和钱塘江流可分别至河口以上230和273公里。特别是钱塘江，在富春江水库大坝建成之前涨潮流可达乌石滩，距河口295公里，是我国涨潮流深入内陆最远的一例。自河口向上涨潮流经历了增大、减小和最后消失的过程。

若采用0.05‰为河口地区咸淡水的分界线，则长江洪水季节位于河口以上40公里处的吴淞附近，枯水季节在河口以上100余公里的江心沙地区。钱塘江则在河口以上170公里的七堡附近。这样，长江和钱塘江分别在130—160km及100—120km的淡水河段内出现涨潮流。这种涨潮流可能是由于涨潮在河口区造成的逆坡降引起的。观测表明，海相生物有孔虫壳体分布的上限在长江与枯水大潮时的潮流界相吻合，达杨中太平洲；在钱塘江低干潮流界，在河口以上200km的闻家堰附近。

根据涨潮流和海水的的影响程度，可将河口地区划分为陆相感潮河段、淡水潮汐河段、半咸水潮汐河段和口外海域。陆相感潮河段内只有潮位的涨落，在沉积物中不能保留海洋因素作用的记录。淡水潮汐河段内既有潮位变化也有涨潮流作用，海陆相因素同时存在，常常出现相指标互不吻合的现象^[22]。在半咸水潮汐河段和口外海域的沉积物中可以保留海洋物理、化学和生物因素作用的产物。

C. 沉积物的溯河搬运

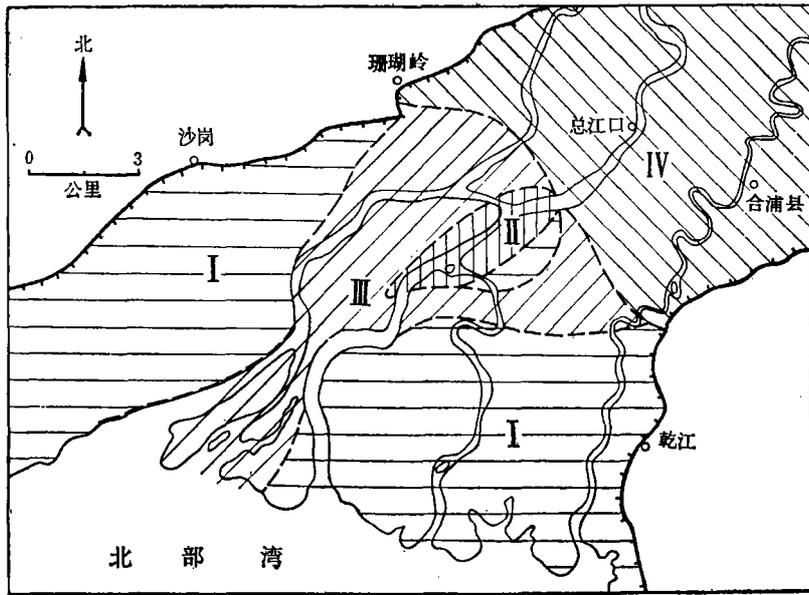
根据观测，沉积物溯河而上搬运的主要动力是涨潮流。搬运方式因颗粒比重而异。有孔虫壳体比重小于1.4，可作为“轻矿物”的代表。近年来的研究表明，河口以内并非有孔虫的生态环境，在此出现的有孔虫壳体是涨潮流搬运而来的，其个体数量向上游逐渐减少。以长江为例，每50克干样中长江江心沙以下平均为1300枚，江心沙至南通段为80枚，南通以上降至5枚。钱塘江河口地区有孔虫的变化与长江相似，七堡以下多达1000—3500枚，七堡至闻家堰降至5枚。它们的壳体愈向上游愈小，与涨潮流衰减趋势相似。河口地区溯河而上搬运的有孔虫壳体很少磨损，其表面常有被其他生物穿凿的痕迹^[15]，说明其主要搬运方式为悬移。河口地区涨潮流速大多为20—60厘米/秒，涨潮延时2—4小时。因此，一个潮周期内有孔虫壳体仅能搬运8—10km。长江和钱塘江河口地区在长达200—230km的河段内均发现有孔虫壳体，可见是多次再悬浮和再搬运的结果。



1.海水入侵 2.涨潮流 3.回水 4.溯源堆积

图4 潮汐河口下游海水入侵，涨潮流、回水和溯源堆积距离的对比图

Fig. 4 Model scheme showing the relative distance of intrusion of sea water, flood tidal current, backwater and retrogressive aggradation in lower reaches of tidal river



I. 沉积层序未被改造 II. 弱改造型 III. 部分改造型 IV. 强烈改造型

图5 广西南流江三角洲沉积层序的改造

Fig. 5 Sedimentary sequences and their reworking in the Nanliujiang delta, Guangxi

海绿石（比重2.9左右）可作为涨潮流溯河搬运的重矿物的代表。南流江前三角洲泥质区的铁皂石是海绿石的一种，其形状有生物内模状和书页状，颜色为墨绿色。有的充填于新鲜有孔虫或介形虫壳体内，有的生物外壳部分脱落。在大于0.048mm的粒级中，海绿石的含量可达21%，向海和向陆其含量均减少。向陆海绿石颗粒的颜色变为黄褐色、赤褐色，滚圆状颗粒增多，比重也略有增加。这种海绿石在潮坪沉积中也可发现，在河口以上7—8 km的叉道河床内也大量出现，15—16km处尚可见到个别颗粒。海绿石在溯河搬运过程中，磨圆度更好，可见其主要搬运方式为推移和跃移。在长江前三角洲泥质沉积中也找到了海绿石，但数量少，颗粒小。在滦河三角洲，不论是笔者的工作，还是他人的研究，均未找到这种自生矿物。因此，只有在热带和亚热带地区海绿石才可以作为识别海进河床充填层序的标志。

3. 海进河床充填层序的沉积过程

如上所述，溯源堆积的距离超过回水，后者则大于涨潮流溯河而上的范围，涨潮流较海水入侵的距离要长（图4）。在海面抬升、海水进侵的过程中，以上各参数在保持相对关系的前提下将逐渐深入内陆。溯源堆积的依次叠置则形成下粗上细的海进河床充填层序。潮汐短周期的作用叠加在长周期的溯源堆积上，致使涨潮流挟带的海相自生矿物和海相微体化石出现在沉积层中，且愈靠近河口丰度愈高。由于溯源堆积的距离超过涨潮流的范围，当海进达到最大范围时，在溯源堆积可以到达而涨潮流不能达到的地区，所形成的海进河床充填层序将不含海相标志，如滦河扇三角洲。

4. 海进河床充填层序形成所需的时间

为确定海进河床充填层序形成所需的时间，在注入长江的古冲沟内进行钻探，长江水位的任何变化都能灵敏地反映在沉积层中。该沉积层厚度达37米，下伏基岩，由沼泽沉积构成，内夹六层泥炭。这样冲沟内的沉积率应与长江水位的上升速度相近，才能保存连续的沼泽沉积。可见这里开始连续加积之日正是冰后期海面上升所引起的回水影响该地之时。这里底部泥炭层的年代为 14650 ± 400 年，而出现海相化石的年代为9000年，这可以看作涨潮流影响该地之时。因此，在冰后期海进过程中，回水和涨潮流影响该地的时间差为5000—6000年。由于技术上的困难暂时难以得到溯源堆积之始。因此，海进河床充填层序形成的时间至少需5000—6000年。

三、南北方三角洲发育和沉积层序改造

1. 发育特点的差异

我国南北方三角洲发育特点明显不同。南方三角洲发育速度较慢，如珠江和南流江三角洲伸展速度分别为 27m/a 和 1.6m/a 。北方三角洲伸展较快，如长江，滦河和黄河三角洲分别为 $50\text{—}100\text{m/a}$ ， $123\text{—}138\text{m/a}$ 和 420m/a ，黄河最大为每年 10km 。其次，南方三角洲大多在湾内发育，即使伸出本身的河口湾，但仍处在海湾之中，如珠江、南流江、钦江、茅岭江三角洲等。长江以北的大河三角洲不仅充满本身的河口湾，而且突出海湾外达数十至百余公里。最后，南方往往数条独立的河流注入同一海湾，各自形成三角洲，而三角洲互相连接，构成形态结构都难以区分的统一三角洲体，称为复合三角洲，钦州湾内的茅岭江和钦江三角洲皆属此类。北方同一条河流往往形成多个亚三角洲体，各亚三角洲构成统一的三角洲复合体。如长江7000a来形成7个亚三角洲，黄河百年来即有10个亚三角洲〔8〕。

2. 沉积层序改造程度的差异

三角洲前展，河流随之延伸，水流将改造沉积层序，使之成为河流层序。依据改造程度，三角洲地区冰后期沉积层可以分为三类：强烈改造型，部分改造型和弱改造型。当三角洲地区冰后期层序全部被改造而成单一河流层序，为强烈改造型（图5—Ⅳ），若河流的改造使中部泥质层侵蚀殆尽，则为部分改造型（图5—Ⅲ）；若改造作用未及层序中部的泥质沉积或使之部分保留，称为弱改造型（图5—Ⅱ）。

三角洲地区冰后期沉积层序的改造在南、北方明显不同。南方亚热带地区的南流江三角洲冰后期沉积层序的改造强烈而普遍，不仅三角洲后缘已改造为单一河流层序，三角洲本身也有34%的面积受到不同程度的改造。而长江三角洲冰后期沉积层序改造的面积仅占8.4%，远小于南流江。

3. 差异产生的原因

南北方三角洲发育特征和改造程度的差异受制于河流的迳流量、输沙量及其比值，而它们又取决于气候条件。大致以长江为界，南北方河流的年输沙量相差悬殊。根据北方26条河流的统计，其年输沙量为 $1781.72 \times 10^8\text{t}$ ，平均每公里海岸线接受 $22.65 \times 10^4\text{t}$ 沉积物。长江以南参与统计的河流10条，其年输沙量为 $109.77 \times 10^8\text{t}$ ，平均每公里海岸线接受 $1 \times 10^4\text{t}$ 沉积物，仅为北方的二十二分之一。

在我国入海河流中取15条河流,其径流量占入海河流的85.5%,基本可代表我国入海河流的状况。采用Moore方法,算得它们的砂/水比值,其结果示于表2。由表可以看

表2 我国主要入海河流的砂/水比值^[16]

Table 2 Sand/water ratio of main rivers in China flowing into sea

河 流	输沙量 × 10 ⁶	径流量 × 10 ⁹ m ³	砂/水
辽 河	24.18	4.22	5.72
大 凌 河	32.30	3.71	8.72
滦 河	19.60	4.55	4.18
海 河	6.00	5.19	1.15
黄 河	1600.00	57.45	27.85
长 江	499.60	979.40	0.51
钱 塘 江	5.40	32.00	0.17
瓯 江	2.45	19.40	0.13
闽 江	7.51	62.37	0.12
韩 江	7.24	29.71	0.24
淇 阳 江	0.80	8.43	0.09
珠 江	82.78	349.20	0.24
鉴 江	1.91	8.52	0.22
南 渡 江	0.52	6.12	0.08
南 流 江	1.16	5.20	0.22

出,以长江为界,以南砂/水比值小于0.5,以北则大于此值,黄河高达27.85。这样,北方河流砂量相对丰富,南方河流的水量相对较多。这可能与南北气候和植被覆盖度不同有关。河流输砂是三角洲形成的物质基础,丰富的泥沙是北方三角洲迅速前展的根本原因。砂量的贫乏使南方三角洲前展缓慢,而较高的水量则使南方三角洲沉积层序受到改造。华南山脉的分隔使河流流域面积一般较小,而雨量充沛则使之发育众多的河流,这就造成了多条河流注入同一海湾,发育复合三角洲的条件。我国北方河流源远流长,砂量丰富,三角洲迅速前展,河口湾很快被充填,并突出于海岸。河流的延展和不断改道,则形成多个亚三角洲,出现多个亚三角洲构成的三角洲复合体,通常不存在发育复合三角洲的条件。

收稿日期 1985年11月20日

参 考 文 献

- [1] 李从先等,1984,石油学报,5卷4期,27—36页。
- [2] 李从先等,1979,海洋学报,1卷2期,252—268页。
- [3] 罗启后,1983,沉积学报,1卷3期,59—68页。
- [4] 王靖泰等,1981,地质学报,55卷1期,67—81页。
- [5] 李从先等,1980,地质科学,4期,322—330页。
- [6] 李春祁,1981,海洋与湖沼文集,科学出版社。
- [7] 黄镇国等,1982,珠江三角洲形成、演变,科学普及出版社广州分社。

- [8] 庞家珍等, 1980, 海洋与湖沼, 11卷4期, 295—305页。
- [9] 周志德, 1980, 海洋与湖沼, 11卷3期, 211—219页。
- [10] 中国科学院兰州地质研究所等, 1979, 青海湖综合考察报告, 科学出版社。
- [11] 庄振业, 1981, 山东海洋学院学报, 11卷1期, 67—79页。
- [12] 朱海虹等, 1981, 潘阳湖现代三角洲沉积相研究, 石油与天然气地质, 2卷2期。
- [13] 李从先、陈刚, 1984, 海洋通报, 3卷4期, 38—44页。
- [14] 陈刚、李从先, 1984, 黄渤海海洋, 2卷2期, 39—48页。
- [15] 汪品先等, 1975, 地层古生物论文集, 第二辑, 1—36页。
- [16] 中国自然地理编辑委员会, 1981, 中国自然地理, 地表水, 科学出版社。
- [17] Browssard M.L. 1975, Deltas; models for exploration. Houston Geological Society.
- [18] Fisher W.L., Brown L.F., Jr. Scott A.J. and McGowen J.H., 1969, Delta Systems in the exploration for oil and gas; A research colloquium; University Texas, Bur. Econ. Geology.
- [19] Morgan J.P. and Shaver R.H. (eds.) 1970, Delta Sedimentation; modern and ancient. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub.
- [20] Wescott W. A. and F. G. Ethridge. 1980, AAPG. V.64, No.3 .P.374—399.
- [21] Wescott W. A. and F. G. Ethridge. 1983, Sedimentology V. 30.P.235—247.
- [22] Makkevев. Н. И. 1960. экспериментальная геоморфология, изд. М. Т. У.

CORRELATION OF MODERN DELTAIC SEDIMENTARY SYSTEMS IN NORTH AND SOUTH CHINA

Li Congxian Chen Gang Sun Heping

(Department of Marine Geology, Tongji University)

Abstract

The mid-seventies is the period of full bloom in delta sedimentation researches on large rivers abroad, but the papers on delta sedimentation were published in the late seventies and the early-eighties in China. Recently delta studies are concentrating on fan-deltas and transgressive channel-filling sequence. The deltaic sedimentation studies contribute a favourable condition for comparison between deltaic sedimentary systems in North and South China, which includes their general and distinct characteristics. The pattern of main facies, the vertical sequence and the transgressive channel-filling sequence belong to the former, and the distribution model of deltaic sand bodies, the vertical superimposition, the facies criteria, the development and the reworking belong to the later (Table 1). This paper deals with the transgressive channel-filling sequence, the progradational rate and the reworking of

Table 1 Correlation of the delta systems in South and North China

	Characteristics	Factor and process	Significance
Generality	1. Distribution of basic delta facies 2. Vertical sequence of deltas 3. Transgressive river-channel fill sequence	Mouth hydrodynamic processes Mouth hydrodynamic processes Backwater and retrogressive aggradation	Recognition of delta
Individuality	1. Delta types and distribution pattern of deltaic sand bodies 2. Superimposition of deltas 3. Facies criteria progradation and reworking of deltas	Tide, wave and fluvial factors and their relationships Tectonic movement Climatic regimen	Prediction of deltaic sand bodies. Determination of space distribution of deltas Reconstruction of palaeogeography of delta formation and development

deltaic systems.

The transgressive channel-filling sequence overlain by deltaic sequence is a fining-upward one with an erosional base surface and gravelly sand or sand in its lower part. It usually contains foraminifera with an upward increase in marineness and also contains marine authigenic minerals such as glauconite in subtropic zone of South China. The transgressive channel-filling sequences in delta areas of the Yangtse, Luanhe, Nanliujiang Rivers can be put in order of marineness. The marineness of transgressive channel-filling sequence in the coastal area is higher than that in the apical area of the Yangtse delta. That in the coastal area of the Luanhe delta is similar to the later, but the transgressive channel-filling sequence in its apical area absents marine microfossil. According to simulating tests, field observations and our recent measurements in the Yangtse, Nanliujiang and Qiantangjiang Rivers, there are the intrusion of sea water, flood tidal current, the backwater caused by datum rising and the retrogressive aggradation in lower reaches of river. Data from modern tidal estuaries show that the distances of retrogressive aggradation, backwater, flood tidal current and intrusion of sea water decrease in proper order. The retrogressive aggradation caused by postglacial sea-level rising formed the transgressive channel-filling sequence, whose characteristics were controlled by flood tidal current and intrusion of sea water. During the maximum transgression,

transgressive channel-filling sequence without marine criteria could develop where retrogressive aggradation occurred but no flood tidal current, such as the Luanhe fan delta area. This would also develop in the subtropic Nanliujiang delta area, but it was reworked into a single normal river sequence by the river.