

南京段河道变迁的工程遥感分析

方 锐 张 勇 宋宏儒 王 毅

(1. 国电华北工程勘测有限公司, 北京 100021; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要: 通过对南京段河道多时相遥感解译对比, 分析河道变迁及发展趋势, 以探究河势发展与沿江工程建设的关系。

关键词: 河道变迁; 遥感解译; 工程建设

1 区域背景

南京地区河道发育严格限制在宁—芜断裂拗陷带内, 河道走向与断裂带一致, 在拗陷带内发生、发展。影响河势发展的沿江天然节点, 如左岸的余山斗、骚狗山, 右岸的猫子山、仙人矶、三山营等往往与断裂、地貌、岩性联合控制相关。地质构造与地貌对河道发育起着重要控制作用。沿河道平原地区广泛分布第四纪以来的河湖相松散沉积, 抗冲能力较低, 丘陵岗地出露第四纪早期下属粘土与古老基岩, 抗冲能力较强, 远离河道的山地则由基岩组成, 与河道发育关系不大。

南京三桥桥位区的新济洲—梅子洲河道属顺直分汊类型, 总体走向北东 35° , 平面形态呈藕节状, 宽窄相间, 宽段为分汊河道, 窄段为顺直河道。依其空间形态又可进一步分为: 新济洲汊道、无名洲汊道、板桥水道与梅子洲汊道(见表1)。

表1 河道概况一览

河道名称	河 型		河长 (km)	河面宽度(m)	稳定性
新济洲汊道	左汊	顺直	13	1300	较稳定
	右汊	微弯	13	800	较稳定
无名洲	左汊	微变	7	1000	活动
	右汊	顺直	7	1000	活动
板桥河道		顺直	6	1400	稳定
梅子洲汊道	左汊	微弯	18	1800	较活动
	右汊	弯曲	18	300	较稳定

2 遥感工作方法

经收集共取得工作区 50—90 年代 7 期航空像片及 20—30 年代的 1:5 万地形图资料, 图像比例尺 1:1 万至 1:5.6 万(见表 2), 按成像时间, 覆盖范围等因素, 工作中选用 54、66、76、86、95 年 5 期图像和 20-30 年代 1:5 万地形图(图像资料已无法收集)解译成图, 其它图像在解译过程中参考使用, 包括使用 76 年卫星图像于新济洲体南端, 以完善解译成果图。

表2 遥感资料一览表

时相	成像方式	比例尺	覆盖范围
1954年6月	黑白摄影	1:3.5万	全区
1966年6月	黑白摄影	1:2.5万	全区
1976年5月14日	黑白摄影	1:1.0万	全区
1985年4月11日	黑白摄影	1:2万	北段
1986年5月24日	彩色红外摄影	1:5.6万	全区
1990年3月12日	黑白摄影	1:2万	全区
1995年12月8日	黑白摄影	1:3.5万	全区
1999年12月30日	彩色红外摄影	1:0.8万	板桥河段
20-30年代	地形图	1:5万	全区
1977年4月21日	陆地卫星扫描	1:10万	全区
1998年5月18日	陆地卫星	1:5万	全区

航空摄影期间长江水位的高低直接影响判读水深线变化的定量数据，对淤积岸影响更大，从已收集到的同步实测的潮水位资料看(表3)，95年水位较高，其它时相均为中低水位，而每个时段的间隔均在10年左右或更长(如解放前)，并不影响河道发展规律的宏观认识。

表3 航摄期潮水位值

时相 (年、月、日)	54.6	66.6	76.5.14	85.4.11	86.5.24	90.3.12	95.12.8	99.12.30
潮水位(m)	6.197	3.165	4.294	2.875	2.580	3.147	1.630	1.444

*根据江苏省水利所信息中心资料，水位值为月均与日均值，高程为黄海基面

根据岸线的崩淤发育情况，可以推论河道主流线运移方式，其一般靠近崩岸一侧，同时远离淤积岸。同一河段，崩岸与淤积岸往往成对出现在左右两岸。

3 河道演变

按河势从上游到下游划分为：新济洲汉道、无名洲汉道、板桥汉道及梅子洲汉道。

3.1 新济洲汉道

新济洲汉道上游与马鞍山河段衔接，下游与无名洲汉道相通，长13km，河段宽4800m，走向北东35°，左汊平直，右汊上段微弯，发育新济洲、子汇洲等江心洲。由于左岸4个天然节点的制约，近10年来，河道比较稳定。

左岸全长13km左右，受制于余山斗、骚狗山两个节点，从6期图像对比看，岸线长期比较稳定，局部曾有变动。20—30年代，岸线明显向外弯曲，曲率半径较小，至1954年时，大致以乌江口为界，上游7km淤长，其幅度达1000m，平均年淤长率为40m左右；下段6km则严重崩退，崩退幅度由乌江口向下游逐渐加大，最大幅度达1600m，年平均崩退率在50m。54年至95年全线经河势调整，崩淤交替，变动幅度在300m左右，年均变化率不到10m，岸线趋于稳定。

右岸全长亦13km左右，受制于猫子山(已脱流)、仙人矶两节点，岸线总体平直，仅在南端铜井附近向外弯曲，半径很小，从20-30年代岸线看，上、中、下三段形成向外弯曲岸，说明当时主流线在南汊运移，54年时中段、下段已淤平，从54年起，与左岸一样，岸线没有大的变动，基本处于相对稳定状态。

新济洲河段长期总体较稳定，岸线变动幅度较小，特别是近40年来，崩淤幅度未超过

300m，一般在 100m 左右，新济洲虽经历了统一—分解—统一的周期，基本是在原地活动；子汇洲 80 年代以来的迅速倒垮淤积，与局部河势变动有关。主流线由解放前在右汉运行转移到近 40 年左汉活动，未能改变河道整体态势，这与该河段受 4 个天然节点制约有关。

3.2 无名洲汉道

无名洲汉道上接新济洲汉道，下通板桥水道，河道走向 45° ，长 7km，汉道整体向西微弯，河面宽 2500m，该汉道比较年轻，活动性较强，70 年代还是水下心滩的无名洲，86 年露出水面，规模达 $3380 \times 1100\text{m}$ 。

左岸：段上起骚狗山，下至人工节点七坝，全长 7km，向外微弯，半径较大，长期经受崩塌，20 - 30 年代岸线在现代岸线南东 2400m 处，离现代的右岸岸线仅 500m 左右。54 年时岸线基本崩退至现代岸线部位，包括新济洲河段左岸下段崩塌在内，30 年间左岸崩塌后退面积在 10km^2 以上，54 年至 95 年仍在继续崩岸，但幅度较小，不足 500m，平均年崩退率仅 10m 左右，说明左岸演变达到一个新的相对稳定期。同时说明长期来主流线沿左汉运移。

右岸：段上起仙人矶，下至三山营，长 8km 左右，20 - 30 年代岸线中下段向外微弯，54 年时因长期淤长弯岸已不存在，淤长幅度达 1000m，到 80 年代又淤长 500m 宽，进入 90 年代又有崩岸发生，在小州尾部附近的岸线，长 2km 范围连续崩岸，崩退幅度达 250m，年平均崩退率达 25m，可能是右汉深泓在小州与陆岸之间峡谷通过有关。

洲体：从 76 年多波段合成图像可以看到该河段以下有两条主泓线，一条沿河段左岸运行，一条则沿南汉运行，两者之间则为线状心滩。经过 10 年，86 年图像上即出露了无名洲体，此时规模为 $3380 \times 1100\text{m}$ ，95 年又扩展到 $4900 \times 1400\text{m}$ ，不到 10 年时间，洲尾下移幅度 1350m，平均年淤长率在 150m 以上，并有继续下延右扩之势。而洲头则没有变化，洲上亦没有人工护岸，说明本处流速慢，便于落淤。从图像对比看，沙洲发育位置在 20 - 30 年代图上还是左岸以外的陆地。无名洲体在平面上呈平行四边形，86、89 两期图像均显示其洲头向右偏转，和新济洲头有惊人的一致，说明左汉分流比要大于右汉。无名洲的迅速扩大因素较多，如洪水年频频出现，来水中含沙量增加，河面宽流速减慢，潮汐作用顶托作用等，与新济洲汉道尾部及右侧情况一致。就目前看，整个河段主要威胁来自无名洲的形成，它的下延右扩直接影响到三山营节点的存在，如果三山营节点断流，梅山铁矿的扬子江码头功能发挥亦将受到影响。主流线既然在左汉运行，并且分流比加大，对七坝人工节点护岸工程将提出更高要求。

3.3 板桥水道

板桥水道是顺直型单一河道，走向北东 40° ，长 6km，河面宽 1300m，上下游分别与无名洲汉道、梅子洲汉道相接，70 年来河势发育稳定，河道中段稳定程度较高，与上下游汉道衔接处略有变化。

左岸上起七坝，下至西江口，长 6km，向内弯曲，曲率半径较大，以七坝下游 2.5km 滨江附近为界，其上游岸线与无名洲汉道左岸一致，崩塌后退，最大幅度在 450m，滨江向西江口则长期淤长，最大幅度在 800m，滨江成了本岸段的上崩下淤的转折点，70 年来“转换”角色保持不变。

右岸上游起三山营，下游至大胜关，长度与左岸相当，呈直线状，长期保持微崩状态，但幅度很小，不足 200m，其变化速率在数米。说明河道主流线偏右岸运行。

河道水面宽度 1954 年以来一直保持在 1500m 左右，最大幅度不超过 1700m。水道与上游、下游汉道河宽略有加大，是岸线演变自然延伸的结果。

这种长期稳定的单一河道形成和发展是长江下游河道发育的普遍规律，在自然与人工节点的作用下，包括人工堤防的增加，使河段在平面上作分汉型与单一顺直型交替出现，即在上—分汉型河道的汇流点与下一分汉河道的分流点之间出现单一水道。

3.4 梅子洲汉道

梅子洲汉道上起大胜关、西江口、下至浦口、下关，长 18km，汉道 1995 年最大宽度 4.3km，左汉顺直，右汉弯曲，汉道内形成梅子洲和潜洲沙体。河道左岸变化较大，右岸相对稳定，梅子洲头及其左缘崩塌严重，潜洲扩展迅速，持续下移右靠，汉道整体表现了一定的活动性。

左岸上起西江口，下至浦口，长 17km，向外微弯，半径较大，20 - 30 年代地形图显示该岸段曾发生过崩退，自 1954 年起，岸线以淤积为主，西江口至陈圩 12km 长逐年落淤，最大淤积幅度达 1400m，年平均淤积率为 35m。陈圩至浦口段因梅子洲头挑流，主流线顶冲，自 1954 年起长期经受崩退，由于人工护岸成功，崩退幅度不大。

右岸呈弯曲延展，1954 年岸线与 20 - 30 年代很不一致，可能是后者资料有误，1954 年以后岸线变动不大，一方面与右汉分流比小，同时与人工防堤标准较高有关。由于弯曲部分呈直角转折，对堤防的要求相对要高。

梅子洲洲体形状从 20 - 30 年代已经形成，上段宽，下段尖窄，呈三角形，右外缘形状与右汉一致，左缘则相对平直，长期以来演变剧烈是洲头与洲头左缘，根据图像对比，洲头从 20 - 30 年代起到 1954 年崩退 1500m，到 1976 年时又崩退 1100m，即 50 年时间崩退 2600m，年均崩退率在 50m，1970 年代以后由于护岸成功，洲头已停止崩塌。洲尾与洲头情况类似，20 - 30 年代至 1954 年亦下移 1500m，以后除 1986 年图像略有下延外，洲尾下延已被遏制。在洲头崩塌的同时，其左缘塌江亦较严重，1954 年以来崩退最大幅度达 1000m，并由上游向下游延伸 7 - 8km，与左岸同期强烈淤积相伴而生，从 1995 年图像看，崩岸强度、长度范围均已减弱、变短，但在一个相当长时代还会继续。

4 河道发展基本特征及趋势分析

通过多时相遥感解译对比分析不难得出以下认识：

稳定的板桥水道。其主要特点是 70 年末河道没有明显改变，河宽一直保持在 1500m 左右，所在部位为比较活动汉道衔接处，主流线长期在偏右岸运行，与河道内其它 3 个分汉河段相比，从历史演变角度看，该河段稳定性最优。

较稳定的新济洲汉道。由于有 4 个天然节点制约该河段的发育，因此岸线多年来无大的变动，近期右汉下段淤积量增加，还不至改变该河段整体形势。新济洲洲体 1970 年来经历了统一—解体—再统一的周期演变，但限制在原地活动。子汇洲进入 80 年代以来的淤积倒夸现象出现，是局部综合因素造成的结果。

较活动的梅子洲汉道。汉道左岸长期淤积仍将持续，但淤积速率可能减缓，这与梅子洲头停止崩退，洲头西缘崩塌范围变小有关，但洲头的挑流作用，使左岸陈圩至浦口冲刷加强。潜洲的出现是该河段的重大事件，目前规模已超过 3700 × 650m，并一直下延左移，1995 年时洲尾已与中山码头齐平，促使右汉分流比减少，左汉过水量加大，加重浦口防洪任务。

活动的无名洲汉道。左岸长期崩退，1954 年前幅度达 2400m，54 年至 95 年为 500m，这一态势还将继续。右岸淤积，1954 年以来幅度在 800m。无名洲的出现改变了该河段的河势。洲体迅速下延右移将促使右汉分流比减少，淤积量增加，三山营节点可能脱流，左汉分流比进一步增加。对左岸的冲刷加大，七坝人工节点的加固标准要求更高。

江心洲。随着河岸人工提防日益完善，促成河道空间形态相对稳定，分汉河道中的江心洲发生、发展问题比岸线演变来得突出，当然它属于河流中的淤积范畴。新济洲—梅子洲河段中老江心洲（梅子洲与新济洲）经过长期调整，外形已基本稳定，但随着复杂的河势发展又有新江心洲的形成，并成长较快，分别从 60 年代与 80 年代发展起来的潜洲与无名洲发生、发展过程有以下特点：一是它们出现在宽阔河道，所在部位现代河宽分别是 3000 米和

2700 米，二是处于狭窄顺直河道的进水口部位，它们的下游分别是大桥水道和板桥水道；三是离主流线较远，两沙洲所属汉道均靠左岸运移；四是两洲目前均未进行人工堤防，处于自然发展状态，86-95 年洲尾下移速率较快，无名洲尾下移率年均达 130 米，潜洲达 80 米，显得非常强烈，而与此同时洲头基本没有变化；五是洲尾均向右移，有人认为与科氏力的作用有关，这是特别要注意的现象，与沿岸工程建设关系极大。

主流线。主流线是高水位时河流中流速最大的一股水流运移路线，有人称动力轴线，主要与河床中表流活动有关，不同于水文上的深泓线，随着河床的边界条件和水位变化而变化，靠近主流线一侧岸线易受冲刷崩岸，远离主流线一侧岸线则落淤成陆。新济洲—梅子洲河段长江主流线变化每年都有差异，但总体在一个时段内仍有定向趋势，以 20-30 年代，54 年和 95 年 3 期图像为例，分析该河段主流线运行规律。

20-30 年代地形图表明，此时河道主流线大致由上游马鞍山河道右汉直冲新济洲河道左汉运移，在余山斗与乌江口之间遭受崩退，右汉支流对右岸也有冲刷，形成了个小型弯岸，过乌江口后又逐渐折向右汉，在仙人矶与三山营之间冲刷掉大片陆地，对岸同步大面积淤积，再经三山营节点挑流，于板桥水道下段折向梅子洲左汉道，主流沿左岸运移 10 多公里后近浦口外又冲向下关再反弹入八卦洲汉道。空间左右摆动的结果，全程形成“S”形路线。

54 年时的主流线比起 20-30 年代变化要大，除局部地段外，全程向左岸迁移，乌江口至七坝间的 16 平方公里边滩冲刷殆尽，西江口至龙王庙部分边滩亦被冲刷，仅乌江口向上地段向右运移，而板桥水道略有淤长，由于 54 年时洪水较大，浦口、下关同时水情紧张，主流线基本沿中心部位过境。这时的主流线总体流程较短，形成板桥水道部位向内、上下游汉道向外微弯的弓箭形态。

经过 40 年的河势调整，95 年时的主流线于板桥水道上游全线沿左汉左岸运移，左岸经受微弱冲刷，相反，梅子洲左汉中主流线逐年由左岸转向右岸，左岸接受淤积，落淤面积达 16 平方公里，称之为西江口—龙王庙边滩，与此同步，左汉道右岸及梅子洲头遭强烈冲刷，此时的主流线基本沿右岸运行，运移 7-8 公里后又被挑向左岸陈家圩至浦口地段，经浦口人工节点挑流再入八卦洲右汉，不难看出，95 年时的主流线运移轨迹线成一个反“S”形。

新济洲—梅子洲 3 期主流线正弦状左右摆动基本经历由 20-30 年代的“S”形，到 54 年时“弓箭”状，95 年时则为反“S”形的演变过程，并限于在分汉河道的左汉之中变化，左右摆动幅度由早年较宽到近期较窄，同时也是河床变窄，流程由长变短过程，而板桥水道则成了上下游汉道内主流线变化的转折点或中心对称点与轴对称点，在平原地区，从水动力学角度由主流线左右摆而形成宽窄相间出现的藕节状河道形态就不难理解。

5 河势发展与沿江工程建设关系

长江三桥选址与梅山铁矿码头

板桥顺直水道是全河段的最稳定地段，70 年中岸线没有大的位移；河面比较狭窄，宽度基本在 1500 米左右，没有形成沙洲的空间；是上下游两种不同活动方式分汉河道的衔接地带，亦是长江主流线运移路线的转变地带；水道进口区为无名洲汉道的汇流区，三山营和七坝两个节点的存在均制约了无名洲尾部持续下延的可能。再从边界条件看，该河段限制在走向北北西的推测断裂之间，是偶合还是其基底构造发育与上下游两分汉河段不一样，推测该段可能有基底抬高之势，这要钻孔资料加以证实。桥位具体位置主要从河道演变角度建议在左岸七坝节点下游 2.5 公里的滨江，这里是上下游崩坍与淤积的转换点；右岸可考虑距离三山营节点较近处为妥，推测这里基岩埋深较浅。

梅山铁矿码头（扬子江码头）这里距无名洲洲尾较近，如果无名洲右汉道因淤积加重，防止码头部位变浅和三山营节点脱流，密切监视无名洲沙体发展趋势，以防患于未然。

下关、浦口码头群

由于七坝人工节点加固，梅子洲头防护停止崩退，浦口码头上游人工抛石，近年来这一长达 20 公里和河势比较稳定。目前潜洲的形成发展，规模已达 3700×650 米，洲尾已与中山码头齐平，并有继续下延右移活动，因已到浦口、下关人工节点，下延速率可能减缓，但右移趋势不容忽视，其结果是下关码头附近水域变浅，影响码头功能的发挥，过江轮渡被迫改道；其二是右汊河床抬高，过水量减少，分流比变小，相应地左汊过水量增加，分流比增大，促使长江主流线在左汊运移加强，河床加深，浦口建港形势变优，但对江岸提防工程提出更高要求。

参考文献

- [1] 中科院地理研究所·长江中下游河道特性及其演变·北京：科学出版社，1985.
- [2] 江苏地矿局遥感站·长江下游（南京—长江口）河道演变遥感调查报告·1986.
- [3] 李冬田·长江下游南京段崩岸及淤积的发展规律·江苏地质增刊，1991.
- [4] 吴文藻·长江下游河床演变论文集·南京：河海大学出版社，1998.
- [5] 李志中、方洪宾·遥感地质应用文集·北京·地质出版社，1994 年