

长江干流江苏段 44 年来河道冲淤变化的时空特征

王 建¹, 刘 平¹, 高正荣², 白世彪¹, 曹光杰^{1,3}, 屈贵贤¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046;

2. 南京水利科学研究院, 南京 210029;

3. 临沂师范学院地理与旅游学院, 临沂 276005)

摘要: 通常认为气候变暖引起的海平面上升将导致下游河道的淤积, 流域水土保持和水库建设引起的上游来沙量的减少将导致下游河道的冲刷。然而, 长江下游河道是如何对海平面上升和上游来沙量的减少做出响应的, 至今还没有直接的确凿的证据。在地理信息技术支撑下, 对长江干流江苏段 (约 330 km) 5 个时期 1:25000~1:60000 的河道地形图进行了数字化, 建立了 1959、1970、1985、1992 和 2003 年河道数字地形图, 对河道的冲淤变化进行了计算分析。结果表明, 长江干流江苏段在 1985 年前后发生过明显的河道冲淤转换: 由 1959-1985 年之间的平均淤积状态转变为 1985-2003 年之间的平均冲刷状态。主要原因是 1985 年以后该河段的上游来沙量的减少。1959-1985 年之间长江干流江苏段河道的淤积过程, 存在着由上游向下游推进的“顺流堆积”现象。1985-2003 年之间, 下段冲刷速率大于中段和上段。

关键词: 长江; DEM; 冲刷; 淤积; 转换; 河道; 下游

自然与人为双重影响下的河流变化过程研究, 是当前国际地球科学研究的一个前沿课题。作为人类活动最强烈的河流以及在很大程度上受季风气候影响、水沙变率很大的河流, 长江是研究河流过程对自然与人为作用响应的理想对象。

长江干流河床近几十年来的冲淤变化和调整, 是自然环境变化和人类活动双重影响的结果, 已经成为国内近期的一个研究热点。研究结果表明, 三峡大坝的建设将会导致大坝下游相当长的河段内在数十年至一百年的时间内处于冲刷状态, 其他河段也将处于冲淤调整状态^[1-6]; 将会对其下游河段河床形态^[7]、水位^[8]、防洪^[4, 5, 9]产生一定的影响。三峡大坝建成后的百年内河流输入长江河口的年输沙量将会由过去 50 年平均的 4.33 亿 t 减少到 2.0~2.5 亿 t^[10]。河流输沙量的减少, 将会导致长江三角洲岸滩淤长速率的减小^[11, 12], 甚至冲刷^[13, 14]。研究还表明, 长江口南汇嘴近岸海床 1959-1979 年处于淤积状态, 1979-1989 年处于冲淤平衡状态, 1989-2002 年则转为冲刷状态, 与河流输沙量的减少密切相关^[13]。长江干流九江段 1972 年以前以淤积为主, 1972 年以后转变为冲刷为主^[15]。宜昌—武汉河段河床冲淤的主要原因是上游来沙量和三口分沙比的变化^[16]。长江中下游宜昌—大通河段近几十年呈现出槽冲、滩淤的特征, 河道形态变化以及河湖淤积是洪水位抬升的主要原因^[5, 6, 9]。然而, 长江干流江苏段近几十年河道冲淤演变的研究, 由于受到水文测站布点的限制以及研究技术和方法的制约, 往往只局限于某个较小的河段。如如皋河段^[17]、镇江河段^[18]、镇江—扬州河段^[19-21]。而对于整个江苏河段的跨越 40 多年的河道冲淤变化的研究很少, 基于不同时期数字河道地形的长江干流江苏段的河道冲淤变化时空特征的研究尚未见到。本文试图在这个方面进行尝试。

收稿日期: 2007-06-03; 修订日期: 2007-07-25

基金项目: 国家重点基础与发展研究项目 (973) 课题 (2003CB415201-8) [Foundation: National Basic Research Program of China, No.2003CB415201-8]

作者简介: 王建 (1962-), 博士、教授、博士生导师, 中国地理学会理事。长期从事自然地理学与地貌学的研究, 发表论著 130 余篇 (部)。E-mail: jwang169@vip.sina.com

1 资料来源和研究方法

长江干流江苏段，地处长江下游，受到海洋潮汐和潮流的作用与影响。为了更好的探究其冲淤变化的原因，对其进行了分段。由于潮流界随着径流量的季节变化而变化于镇江和江阴之间^[2]，以此将江苏段划分为三段：上段（A 段），神农洲—镇江（瓜洲），基本上不受潮流的作用，只受潮位变化的影响；中段（B 段），镇江（瓜洲）—江阴，为过渡段，枯水季节受潮流的作用，洪水季节则不受或很少受潮流的作用；下段（C 段），江阴—徐六泾，洪枯季均受到潮流的作用（图 1）。

本文选取长江下游航行保障图集集中的江苏河段 5 个时期的河道地形图（表 1）。利用地理信息技术，对该段河道地形图进行了数字化，经过扫描、空间配准、矢量化、图形查错、图形校正、地理编码和格式转换等步骤，建立了 1963 年、1972 年、1985 年、1992 年和 2003 年版河道数字地形图（图 2、图 3）。为了便于计算和对比，将数据点的高程统一到黄海基准。

由于 1963 年和 1972 年出版的河道地形图实际上分别是 1958-1959 年和 1969-1970 年测量的（表 1），在计算河道冲淤速率时，它们分别代表 1959 年和 1970 年的河道地形状况。所以在后面的冲淤量和冲淤速率计算时，出现的分别是 1959 年、1970 年，而不是 1963 年和 1972 年。由于利用的各个时期的河道地形图的比例尺不同，为了便于比较，在数字化时统一按照 1:60000 的标准进行。

借助于 ArcGIS 技术，对三个河段 4 个时期河道公共区域面积的大小和河道体积的变化进行了计算，在此基础上计算了河道平均冲淤厚度和速率（表 2、表 3）。由于两个时期河道公共区域的面积一般都占到河道总面积的 85%~95%，平均 90%左右，因此计算结果的代表性还是相当好的。

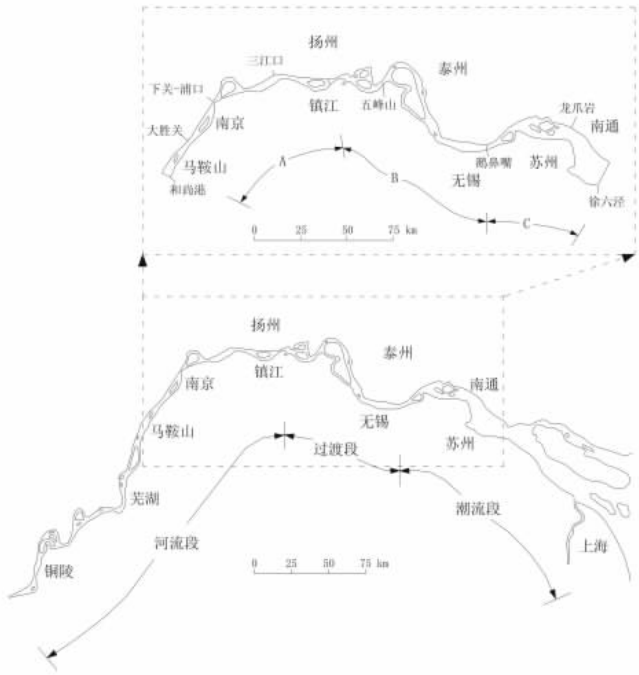


图 1 研究区域及其分段示意图
(A 段：上段，所在河段为河流段；B 段：中段，所在河段为过渡段；C 段：下段，所在河段为潮流段)

Fig. 1 Sketch of the research area and segment reach
(A: upper segment, in river reach; B: middle segment, in: transitional reach; C: lower segment, in tidal reach)

表 1 河道地形数据来源概况

Tab. 1 The data sources and background			
出版年代	测量年代	深度基准面	比例尺
1963 年	1958 年	江阴以下：理论深度基准面	6-8:1:5 万
	1959 年	江阴以上：1959 年 7 月设计水位	9-25:1:2.5 万
1972 年	1969 年	江阴以下：理论深度基准面	8-9:1:6 万
	1970 年	江阴以上：航行基准面	10-33:1:4 万
1985 年	1985 年	江阴以下：理论深度基准面	12-14:1:6 万
		江阴以上：航行基准面	15-29:1:4 万
1992 年	1992 年	江阴以下：理论深度基准面	4:1:5 万
		江阴以上：航行基准面	5-16:1:4 万
2003 年	2000 年	江阴以下：理论深度基准面	1:4 万
	2003 年	江阴以上：航行基准面	

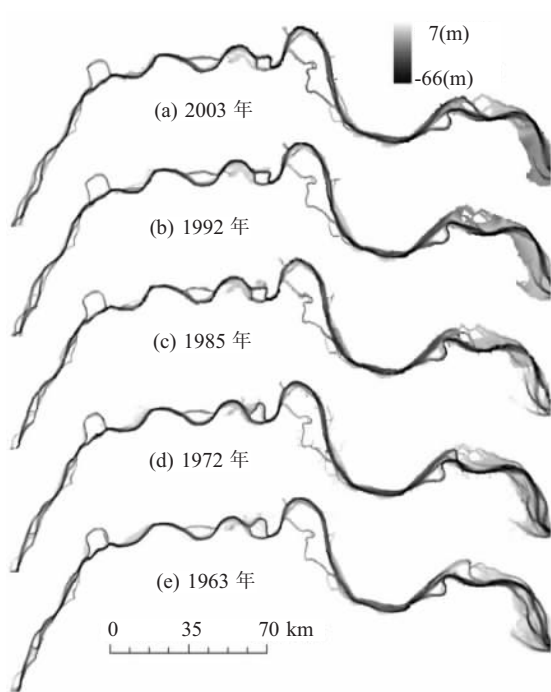


图 2 研究区河段历年数字高程模型
(格网大小为 20×20m)

Fig. 2 DEM of five years in research reach
(grid size: 20×20 meters)

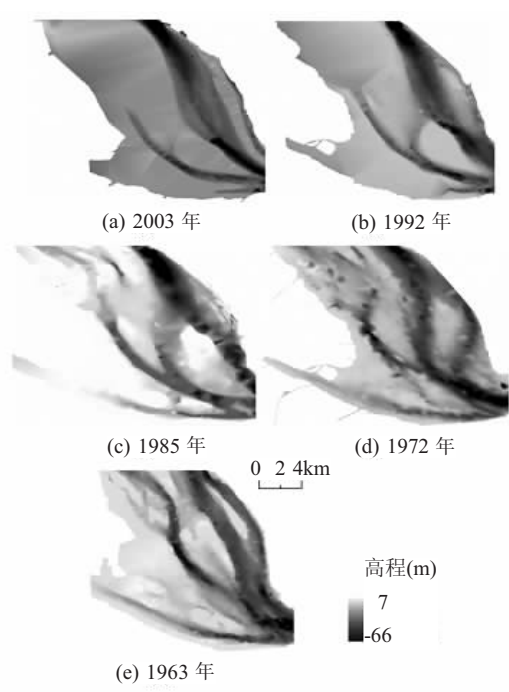


图 3 研究河段历年数字高程模型局部显示
(格网大小为 20×20m)

Fig. 3 Local display of DEM of the research reach
(Grid size: 20×20 meters)

表 2 长江干流江苏段各个时期公共区域面积的大小和河道体积的变化

Tab. 2 Channel volume variations of the Jiangsu reach since 1959

时段	上段 (神农洲-镇江)		中段 (镇江-江阴)		下段 (江阴-徐六泾)		整个江苏段 (神农洲-徐六泾)	
	体积变化 (百万 m ³)	面积 (百万 m ²)	体积变化 (百万 m ³)	面积 (百万 m ²)	体积变化 (百万 m ³)	面积 (百万 m ²)	体积变化 (百万 m ³)	面积 (百万 m ²)
1959-1970	500.25	254.79	402.99	333.60	165.84	556.76	1069.08	1145.15
1970-1985	291.18	238.25	381.64	340.55	534.90	560.96	1207.72	1139.76
1985-1992	-125.43	237.36	-196.38	361.42	-735.46	571.47	-1057.27	1170.25
1992-2003	-57.44	240.53	-64.81	339.74	-540.31	522.97	-662.56	1103.24
1959-2003	475.63	217.21	326.46	300.46	-562.67	516.72	239.42	1034.39

注: 体积变化为两个时期河床高度曲面之间的体积, 面积为两个时期河床高度曲面所覆盖的公共区域的面积

表 3 长江干流江苏段河道平均冲淤厚度和平均冲淤速率的变化
(正值表示淤积, 负值表示冲刷)

Tab. 3 Variations of the channel sedimentation and erosion rate since 1959
(positive—sedimentation, negative—erosion)

时间段	上段 (神农洲-镇江)		中段 (镇江-江阴)		下段 (江阴-徐六泾)		整个河段 (神农洲-徐六泾)	
	冲淤厚度 (cm)	平均冲淤速率 (cm/a)	冲淤厚度 (cm)	平均冲淤速率 (cm/a)	冲淤厚度 (cm)	平均冲淤速率 (cm/a)	冲淤厚度 (cm)	平均冲淤速率 (cm/a)
1959-1970	196.34	17.85	120.80	10.98	29.79	2.71	93.37	8.49
1970-1985	122.22	8.15	112.07	7.47	95.36	6.36	105.96	7.06
1985-1992	-52.85	-7.55	-54.34	-7.76	-128.70	-18.39	-90.35	-12.91
1992-2003	-23.88	-2.17	-19.08	-1.73	-103.32	-9.39	-60.06	-5.46
1959-2003	218.98	4.98	108.65	2.47	-108.89	-2.47	23.15	0.53

2 河道深槽冲淤转换及其原因

2.1 冲淤转换

计算结果表明，长江干流江苏段河道在 1985 年前后发生过一个根本性的转变，由平均的淤积状态转变为平均的冲刷状态。无论是上段、中段，还是下段，1959-1970 和 1970-1985 年之间均处于淤积的状态，平均淤积速率从 17.85 cm/a 到 2.71 cm/a 不等。而 1985-1992 年和 1992-2003 年之间则为冲刷，平均冲刷速率从 18.39 cm/a 到 1.73 cm/a 不等。整个江苏段河道的平均淤积速率在 1959-1970 年和 1970-1985 年之间分别为 8.49 cm/a 和 7.06 cm/a，而 1986-1992 年和 1992-2003 年之间的平均冲刷速率分别为 12.91 cm/a 和 5.46 cm/a (表 3，图 4)。

整个长江干流江苏段，河道的冲淤量在 1959-1970 年、1970-1985 年、1985-1992 年和 1992-2003 年之间，分别达到 10.69、12.08、-10.57 和 -6.63 亿 m³(表 2)，每年平均冲淤量分别为 0.97、0.81、-1.51 和 -0.60 亿 m³。变化的幅度和速度都是相当大的。1985 年前后的冲淤转换是很明显的。

2.2 冲淤转换的原因分析

长江干流江苏段河道在 1959-1985 年之间以淤积为主，平均淤积速率 7.78 cm/a (7.06~8.49 cm/a)。可为什么在 1985 年左右由淤积转变为冲刷了呢？

长江干流江苏段地处下游，一方面受到上游来水、来沙的影响，同时也受到海平面波动的影响。对长江口吴淞站 1917-1994 年验潮资料的分析表明，海平面一直保持上升的趋势，70 多年来的海平面平均上升速率为 0.18 cm/a，后 40 年来的海平面平均上升速率为 0.26 cm/a^[23]。长江口的相对海平面自 20 世纪 50 年代以来一直到 1985 年呈较快的上升状态(图 5)，尽管 1985 年以后上升速度有所减缓，但是仍然呈上升趋势。一般情况下，对于河流下游地区来说，海平面的上升有利于河道的淤积，海平面的下降有利于河道的冲刷。但是，从各个统计时间段海平面升降与河道冲淤的比

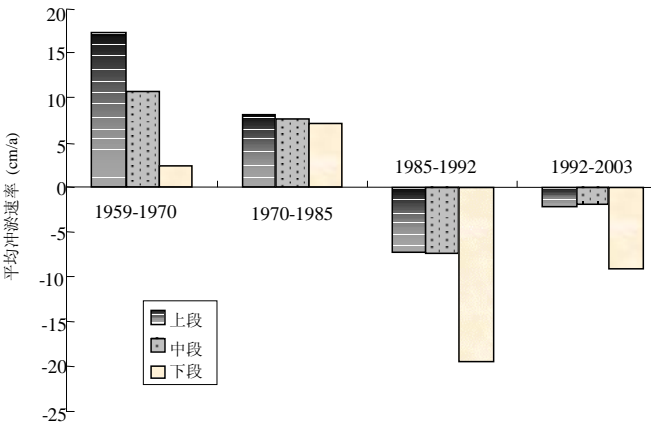


图 4 44 年来长江干流江苏段河道平均冲淤速率变化
Fig. 4 Variations of the sedimentation and erosion rate of the Jiangsu reach in the last 44 years

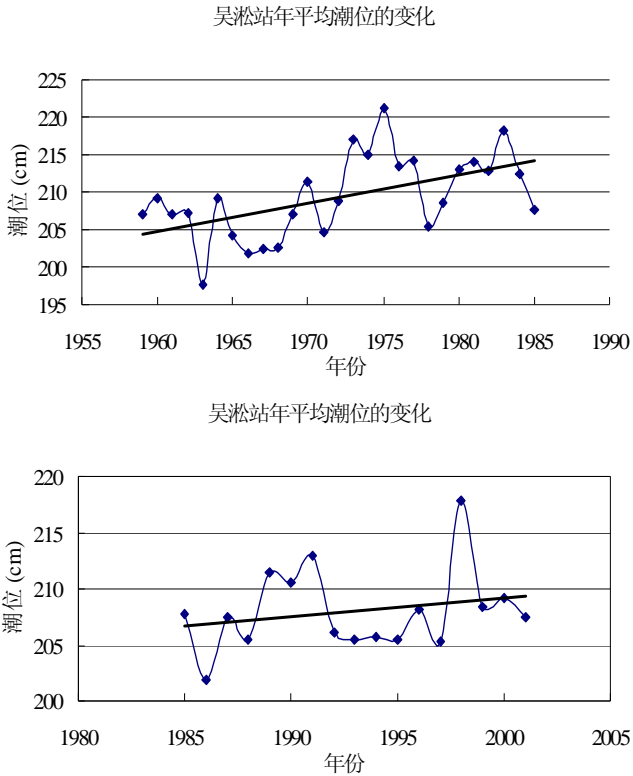


图 5 吴淞站记录的长江口相对海平面变化
Fig. 5 The relative sea-level change of the Yangtze River Mouth recorded at Wusong tidal gauge station

表 4 海平面变化与河道冲淤变化的比较					
Fig. 4 Comparison of the channel variations with the relative sea-level change					
年代	1958-1959	1969-1970	1985	1992	2000-2001
平均潮位 (cm)	205.38	209.15	207.66	206.08	208.3
海平面变化趋势	上升		下降	下降	上升
河道冲淤情况	淤积		淤积	冲刷	冲刷

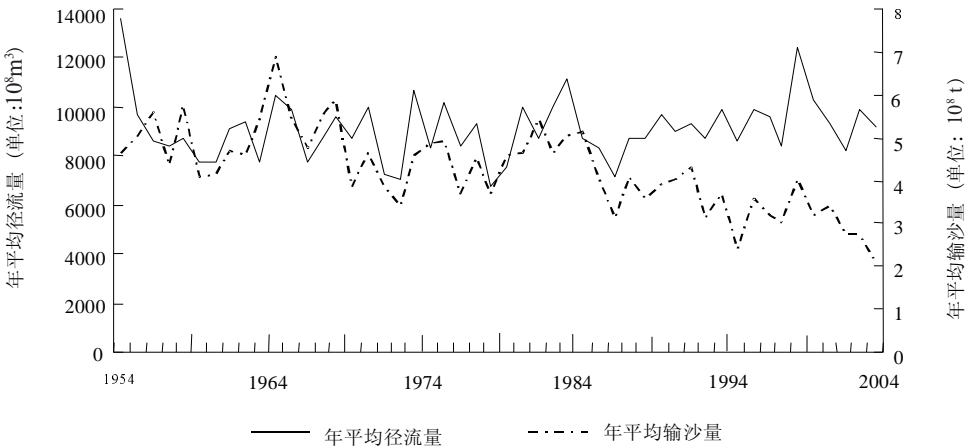


图 6 大通站历年年均径流量、年平均输沙量变化

Fig. 6 The last 50-year variations of the annual water and sediment discharge of the lower Yangtze River recorded at Datong station

较来看，两者之间并不存在上述的对应关系(表 4)。另外，河道冲淤变化的幅度比海平面变化幅度大 1~2 个数量级(表 3、表 4)。可见，海平面的变化可能不是 1985 年前后长江下游江苏段河道淤冲转换的主要原因。

位于该河段上游最近的一个水文站—大通站，很好地记录了上游河段来水来沙量的变化情况。由图 6 不难看出，大通站的年输沙量在 1985 年前后确实发生了显著的变化。在此之前，年均输沙量一直保持着较高的水平，平均为 4.33 亿 t。而后输沙量在波动中下降，波谷点出现了以前从来没有出现的极小值，如 1994 年的 2.39 亿 t，2003 年的 2.06 亿 t。应铭等(2005)对大通站泥沙时间序列(1953-2001 年)的分析也表明，1984 年以后相对 1984 年以前相比，输沙量减少了 26.4%^[24]。而年均径流量却变化不大或者还略有增加(图 6)。因此，长江干流江苏段，1985 年前后由淤积转变为冲刷的主要原因可能是上游河段来沙的减少。

至于上游河段来沙量减少的原因，可能是多方面的。一是处在该河段上游的宜昌—大通河段在 1986 年前后总体上由冲刷转变为淤积，1986 年后有较多的泥沙淤积在宜昌—大通河段，从而使得到达下游江苏段的泥沙减少。根据石国钰等(2002)、余明辉等(2004)的研究^[5, 6]，从宜昌到大通河段的河道在 1966-1986 年之间平均呈冲刷状态，平滩河道冲刷量为 16188 万 m³，而 1986-1998 年之间却转变为淤积，平滩河道淤积量达到 83325 万 m³(表 5)。二是 20 世纪 80 年

表 5 宜昌—大通河段 1966—1998 年平滩河道冲淤量变化 (10⁴ m³) (据文献 [5、6] 编制)

Tab. 5 Channel erosion and sedimentation of Yichang—Datong reach in 1966—1998 (from [5,6])			
时间段	冲 (-) 淤 (+) 量	时间段	冲 (-) 淤 (+) 量
1966-1975	+15058		
1975-1981	-20179	1966-1986	-16188
1981-1986	-11067		
1986-1993	+33465		
1993-1996	+40168	1986-1998	+83325
1996-1998	+9692		

代后期尤其是 90 年代进行的长江上游水土保持工程,使得上游流域的产沙量有所减少。根据殷鸿福等 (2004) 的统计,1951-1995 年之间宜昌站的年均输沙量为 5.12 亿 t,而 1989-1995 年之间却平均只有 4.11 亿 t^[9]。80 年代中期以来长江上游流域泥沙产出量减少也是显而易见的。

3 河道冲淤的空间变化特征及其原因

从表 3 和图 7 不难看出,尽管上段、中段和下段在 1985 年前后的冲淤转换是一致的,但是冲淤变化的幅度及过程却存在显著的差异。

一是下段冲刷大于中段和上段。1985-1992 年之间,下段的平均冲刷速率达到 18.39 cm/a,而中段和上段却分别只有 7.76 cm/a 和 7.5 5 cm/a。1992-2003 年之间,当下段冲刷平均速率为 9.39 cm/a 时,中段和上段则分别只有 1.73 cm/a 和 2.17 cm/a。从整个时间段来看,1959-2003 年之间,上段和中段为淤积量大于冲刷量,总体平均结果为淤积;而下段却是冲刷量大于淤积量,总体平均结果为冲刷。原因可能在于,上游河段来沙的减少和下游岸滩的防护使得下段相对于中段与上段泥沙供应更加不足。

二是“顺流堆积”,1959-1970 年之间,长江干流江苏段河道普遍发生了淤积,淤积的速率以上段最大,向中段、下段依次减小,淤积速率由上段的平均 17.85 cm/a 减小为中段的 10.98 cm/a 和下段的 2.71 cm/a,变化的空间差异达到 6 倍之多。而到了 1970-1985 年之间,上段的淤积速率大幅度减小,而下段的淤积速率却迅速增大,上段、中段和下段的淤积速率趋于一致,分别为 8.15 cm/a、7.47 cm/a 和 6.36 cm/a。表明随着上段河道的淤浅(河床的抬高),淤积作用向下游推进。河道容积的变化也进一步说明了这一点。1985 年国家标准高程 -2 m、-5 m 和 -8 m 以下河道容积的变化表明,在 1959-1970 年之间上段河道容积减小的幅度可达 11%~13%,中段只有 3%~8%,下段几乎没有什么变化(图 8)。说明这个阶段河道淤积主要发生在上段。可是到了 1970-1985 年之间,在上段河道容积减小的幅度仍然保持较大的情况下,中段和下段河道容积减小的幅度却超过了上段(图 9),说明淤积中心向下游迁移。

淤积向下游逐步推进的原因,在于泥沙来自上游河段,当泥沙含量达到饱和时,河道便开始出现淤积,随着河道的淤积,过水断面缩小,河流挟沙能力增大,该河段淤积受到抑制。但是,如果上游来沙仍然保持较高水平,则原来淤积河段的下游河段就会相继出现淤积或者淤积速率增大的现象。

过去在教科书中只涉及到“溯源

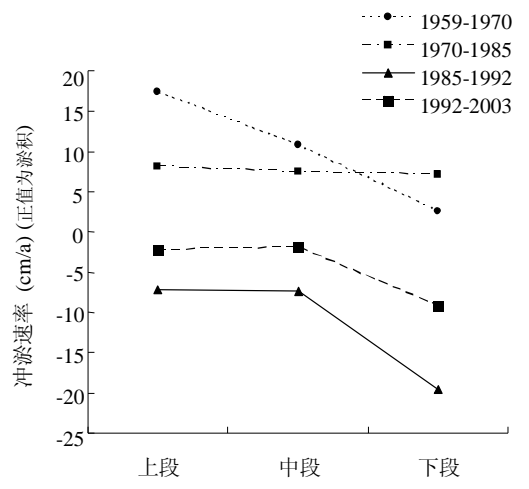


图 7 长江干流江苏段河道冲淤的时空变化

Fig. 7 Temporal and spatial variations of Jiangsu reach

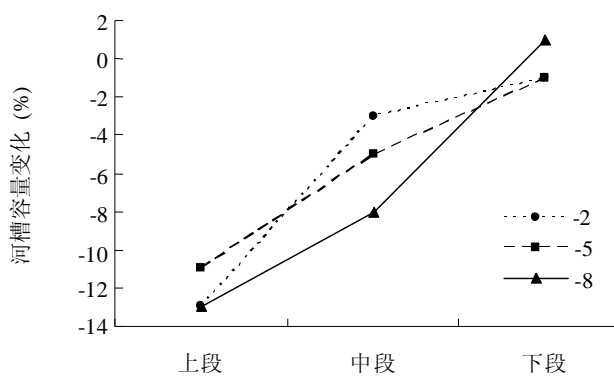


图 8 上、中、下段 1959-1970 年间不同高程以下河道容量的变化

Fig. 8 Channel volume variations of the upper, middle and lower segments of the Jiangsu reach between 1959 and 1970

加积”或者“向源堆积”的概念，是指由于基准面（如海平面）的上升导致的由河口逐步向上游推进的河道淤积过程。而该项研究却发现，由于河段上游来沙量保持在一个较高水平而导致的河道淤积却出现了淤积由上游向下游推进的现象——“顺流堆积”。

4 结论

- (1) 长江干流江苏段河道在 1985 年前后发生过明显的冲淤转换：由 1959-1985 年之间的平均淤积状态转变为 1985-2003 年之间的平均冲刷状态。主要原因在于 1985 年以后该河段的上游来沙量的减少。
- (2) 1959-1985 年之间长江干流江苏段河道的淤积过程，存在着“顺流堆积”的现象。即，淤积首先发生在上游河段，然后向下游河段推进。原因在于河流的自我调节功能：当来自上游的泥沙含量达到某河段的饱和状态时，河道便开始出现淤积，随着河道的淤积，过水断面缩小，河流挟沙能力增大，该河段淤积受到抑制。但是，如果上游来沙仍然保持较高水平，则原来淤积河段的下游河段就会相继出现淤积或者淤积速率增大的现象。
- (3) 1985-2003 年之间，下段冲刷大于中段和上段。原因主要在于，上游来沙的减少和下游岸滩的防护使得下段泥沙相对于中段与上段更加不足。

参考文献 (References)

[1] Huang Yue, Huang Yiling. Investigation into Tendency of River Erosion Downstream of Three-Gorge Project. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1998, 15(3): 6-10. [黄悦, 黄翌龄. 三峡水库下游河床冲刷趋势探讨. 长江科学院院报, 1998.15(3):6-10.]

[2] Dai Shibao, Yang Shilun, Zhao Huayun et al. Response of middle and lower reaches of Yangtze River to the initial operation stage of the Three Gorges Project. Journal of Sediment Research, 2005, (5): 35-39. [戴仕宝, 杨世伦, 赵华云等. 三峡水库蓄水运用初期长江中下游河道冲淤响应. 泥沙研究, 2005, (5): 35-39.]

[3] Li Yitian, Sun Zhaohua, Deng Jinyun. A study on riverbed erosion downstream from the Three Gorges Reservoir. Journal of Basic Science and Engineering, 2003, 11(3): 283-295. [李义天, 孙昭华, 邓金运. 论三峡水库下游的河床冲淤变化. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(3): 283-295.]

[4] Han Qiwei, He Mingmin. Erosion of river reach downstream Three Gorge Reservoir and its influence on flood prevention. Journal of Hydroelectric Engineering, 1995, (3): 34-46. [韩其为, 何明民. 三峡水库修建后下游长江冲刷及其对防洪的影响. 水利发电学报, 1995, (3): 34-46.]

[5] Yu Minghui, Liang Xing, Duan Xuezhong. Peak water level variation and bed change of the Yangtze River. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(6): 31-35. [余明辉, 梁杏, 段学忠. 长江中下游洪水变化与河床冲淤. 南水北调与水利科技, 2004, 2(6): 31-35.]

[6] Shi Guoyu, Xu Quanyi, Chen Zefang. Analysis on channel scouring and silting and self-adjusting in midstream and downstream reaches of Changjiang River. Journal of Mountain Science, 2002, 20(3): 257-265. [石国钰, 许全喜, 陈泽方. 长江中下游河道冲淤与河床自动调整作用分析. 山地学报, 2002, 20(3): 257-265.]

[7] Duan Xuezhong, Zhang Zhengquan. The river morphology change of Jingjiang Reach after the operation of the Three Gorges Reservoir. Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering, 1997, 30(4): 26-29. [段学忠, 张政权. 三峡建库后荆江河段河床形态变化. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(4): 26-29.]

[8] Jiang Jiahui, Huang Qun. Impacts of the Three Gorges Project on its downstream water level. Journal of Hydraulic Engineering, 1997, (8): 39-43. [姜加虎, 黄群. 三峡工程对其下游长江水位影响的研究. 水利学报, 1997, (8): 39-43.]

[9] Yin Hongfu, Chen Guojin. Analysis of sediment in the middle reach of the Yangtze River. Science in China (Series D),

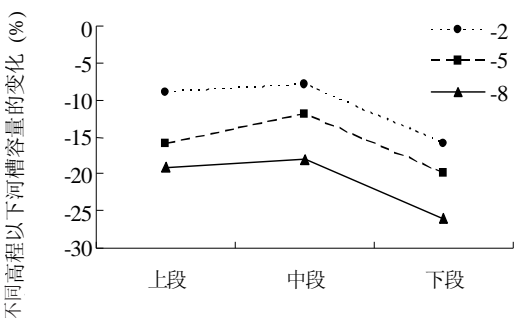


图9 上、中、下段 1970-1985 年间不同高程以下河道容量的变化

Fig. 9 Channel volume variations of the upper, middle and lower segments of the Jiangsu reach, 1970 - 1985

- 2004, 34(3): 195-209. [殷鸿福, 陈国金. 长江中游的泥沙淤积问题. 中国科学 (D 辑), 2004, 34(3): 195-209.]
- [10] Li Congxian, Yang Shouye, Fan Daidu. The change in Changjiang suspended load and its impact on the delta after completion of Three Gorges Dam. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(5): 495-500. [李从先, 杨守业, 范代读. 三峡大坝建成后长江输沙量的减少及其对长江三角洲的影响. 第四纪研究, 2004, 24(5): 495-500.]
- [11] Yang S L, Belkin I M. Delta response to decline in sediment supply from the Yangtze River: Evidence of the recent four decades and expectations for the next half century. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 2003, 57: 689-699.
- [12] Yang Shilun, Zhu Jun, Li Peng. Response of tidal bank on the Changjiang River Mouth foreland to drastic decline in riverine sediment supply and sea level rise. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(2): 152-158. [杨世伦, 朱俊, 李鹏. 长江口前沿滩地对来沙锐减和海面上升的响应. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 152-158.]
- [13] Yu Zhiying, Lou Fei. The evolvement characteristics of Nanhuizui foreland in the Changjiang Estuary, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(3): 47-53. [虞志英, 楼飞. 长江口南汇嘴近岸海床近期演变分析: 兼论长江流域来沙量变化的影响. 海洋学报, 2004, 26(3): 47-53.]
- [14] Li Ming, Yang Shilun, Li Peng et al. Drastic decrease in sediment supply from Yangtze River and coastal crisis. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(3): 282-288. [李明, 杨世伦, 李鹏 等. 长江泥沙锐减与海岸滩涂资源的危机. 地理学报, 2006, 61(3): 282-288.]
- [15] Li Maotian, Chen Zhongyuan. Analysis of Jiujiang reach of Changjiang River evolution in recent forty years using DEM. *Advances in Water Science*, 2004, 15(3): 330-335. [李茂田, 陈中原. 长江九江段 40 年来河道演变的 DEM 研究. 水科学进展, 2004, 15(3): 330-335.]
- [16] Xu Jiongxin. Respond of channel sediment budget to flow and sediment inputs: An example of the Yichang-Wuhan reach, Yangtze River. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 337-348. [许炯心. 长江宜昌—武汉河段泥沙年冲淤量对水沙变化的响应. 地理学报, 2005, 60(2): 337-348.]
- [17] Du Yonghong, Guo Bixiang, Chen Desheng. Variation of the Rugao sandy beach in Yangtze River. *Yangtze River*, 2002, 33(12): 11-13. [杜永红, 郭必祥, 陈德胜. 长江如皋沙群演变与整治. 人民长江, 2002, 33(12): 11-13.]
- [18] Mao Ye, Huang Cai'an, Chen Jianhua. Experimental study on the effects of sand mining on the riverbed deformation in Zhenjiang reach and its application. *Journal of Sediment Research*, 2004, (3): 41-45. [毛野, 黄才安, 陈建华. 长江镇江段河道采沙的影响及其控制利用试验研究. 泥沙研究, 2004, (3): 41-45.]
- [19] Liu Juan, Liu Hong, Sun Daifeng. Analasis on evolution tendency of river bed for Zheng-Yang stretch in recent period. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2003, 20(4): 18-20. [刘娟, 刘宏, 张岱峰. 长江镇扬河段近期河床演变趋势分析. 长江科学院院报, 2003, 20(4): 18-20.]
- [20] Zhang Zengfa, Li Qishun. Study on river bed evolution of Zhenjiang-Yangzhou reach, Yangtze River. *Yangtze River*, 2001, 32(9): 39-40. [张增发, 李启顺. GIS 支持下长江镇扬河段河床演变分析. 人民长江, 2001, 32(9): 39-40.]
- [21] Ding Xianrong, Wang Wen, Yang Tao. River digital terrain information system and GIS for Zhen-Yang Section of Yangtze River. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2001, 29(4): 116-119. [丁贤荣, 王文, 杨涛. 长江河道数字地形信息系统和镇扬河段 GIS 研制. 河海大学学报, 2001, 29(4): 116-119.]
- [22] Song Lanlan. Research on the location of tidal current limit of Yangtze River. *Hydrology*, 2002, 22(5): 25-26. [宋兰兰. 长江潮流界位置探讨. 水文, 2002, 22(5): 25-26.]
- [23] Xu Gang, Wang Ying, Zhu Dakui. Sea level rise analysis of the Yangtze River Estuary. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 1998, 34(3): 272-276. [徐刚, 王颖, 朱大奎. 长江口海面上升量分析. 南京大学学报 (自然科学版), 1998, 34(3): 272-276.]
- [24] Ying Ming, Li Jiufa, Wan Xinning et al. Study on time series of sediment discharge at Datong Station in the Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(1): 83-87. [应铭, 李九发, 万新宁 等. 长江大通站输沙量时间序列分析研究. 长江流域与环境, 2005, 14(1): 83-87.]

Temporal-spatial Variation of the Channel in Jiangsu Reach of the Yangtze River during the Last 44 Years

WANG Jian¹, LIU Ping¹, GAO Zhengrong², BAI Shibiao¹, CAO Guangjie^{1,3}, QU Guixian¹

(1. *Collage of Geographical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;*

2. *Nanjing Hydraulic Science Research Institute, Nanjing 210029, China;*

3. *College of Geography and Tourism, Linyi Normal University, Linyi 276005, Shandong, China)*

Abstract: River channel sedimentation in the lower reaches of the Yangtze River can be affected by both rising sea level due to global warming and the construction of reservoirs in the upper river that reduces the amount of sand discharge. To evaluate the dynamic changes of sedimentation and erosion of the Jiangsu reach of the Yangtze River (about 330 km in length) from 1958 to 2003, databases of five periods Digital Elevation Mode (DEM) of underwater topography were designed and constructed on the basis of the Jiangsu River Relief Map in 1959, 1970, 1985, 1992 and 2003 (1:25000-1:60000). The result indicated that the main course of Yangtze River in Jiangsu Province had experienced an obvious switch from sedimentation to erosion around 1985 because of the decreasing amount of sediment yield from the upper Yangtze River after that year. The sedimentation process in the main course of Jiangsu reach of the Yangtze River demonstrated propulsive phenomena of "down-reach-ward accumulation". Between 1985 and 2003, the erosion rate of the lower segment was greater than those of the middle and upper segments. The reason is probably the bigger shortage of sediment yield due to the decrease of sediment source from the upper reach and the strengthening protection of the bank erosion in the lower reach.

Key words: Yangtze River; DEM; sedimentation; erosion; conversion; transition; channel; lower reach