

宁波三江河道水沙特性及冲淤变化规律

严文武

(宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波 315192)

摘要: 从径流量、潮量和含沙量的历史变化角度,对宁波三江水沙特性做定性描述,并阐述了奉化江、姚江和甬江河床演变及冲淤规律。历史上三江河床较为稳定,河道处于相对冲淤平衡状态,但1959年姚江大坝和1975年镇海拦海大堤两大工程的相继建成,引起甬江河道发生剧烈淤积以适应水动力条件的改变,经过多年调整才渐趋平衡。随着社会经济的迅速发展,三江沿岸涉水工程(桥梁、码头等)、水资源开发利用(水库等)及人类活动(建筑垃圾和淤泥违规倾倒)逐年增多,甬江河道尤其边滩进入缓慢淤积期。奉化江河道亦处于缓慢淤积状态,但总体淤积强度相对较小。姚江闸下河段在大闸不泄流的情况下水动力条件较弱,河道整体处于单向淤积状态之中。研究宁波三江河道的演变历史规律,不仅可丰富河床演变学关于潮汐河口的理论,还可为我国类似感潮河流的淤积治理提供相应的参考。

关键词: 涉水工程; 水沙特性; 河床演变; 甬江

中图分类号: TV14

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0143-06

20世纪60年代以来,许多学者研究了宁波三江河道的冲淤变化规律以及因涉水工程引起的水沙特性改变问题,取得了不少研究成果^[1-4],袁美琦^[1]、沈承烈^[5-6]分析了姚江建闸和镇海建堤对甬江河床演变的影响,并研究了1983年前甬江河床冲淤规律及其影响因素;张定邦^[7-8]则针对20世纪70年代中期镇海建港及整治工程对甬江河床形态的影响做了分析,并建立了建港后河床形态与水力条件的相关关系;蒋建华^[9]等应用一维和二维泥沙数值模型,阐述了姚江建闸前后的泥沙冲淤特性及动力机理,探讨了泥沙运动的垂向效应及其对冲淤的影响程度;李文杰^[10]针对甬江流域的降雨径流特性和水资源变化特点,利用水力学非恒定流计算模型,对降水和人类活动对入海径流量的影响做了初步分析。关于1985年前的三江河道河床演变及单项涉水工程对河道的冲淤影响,已有较多文献,但对1985年后三江河道的水沙特性及冲淤变化规律的研究却较为少见。

本文拟从径流量、潮量和含沙量的历史变化角度,对甬江水沙特性做定性描述,并根据实测资料分析1985年后奉化江、姚江和甬江河床演变及冲淤规律,最后得出河床演变规律,为今后三江河道的综合整治提供科学依据。

1 区域概况

甬江流域位于浙江省东部沿海,杭州湾之南,属浙北平原区和浙东低山丘陵区,具有四季分明,温暖湿润,雨量充沛的气候特征。甬江流域的降水量除时间上分配不均外,在空间分布上也有差异,且易受台风影响发生洪涝灾害。甬江流域的主要河流包括姚江、奉化江及甬江干流。北支姚江和南支奉化江于宁波市区三江口汇合成甬江干流后东流入海,流域总面积为5 683.6 km²。甬江干流河道弯曲,江面一般宽300~450 m,平均水深4~5 m,水面比降小于0.01‰。姚江、奉化江和甬江干流合称“三江”,是宁波市主要的行洪排涝通

收稿日期: 2011-10-20

作者简介: 严文武(1963-),男,江苏扬州人,高级工程师,主要从事水利规划、水工结构方面研究。

E-mail: olivede2011@sina.com

道,同时也是沟通内陆与出海海运的重要通道,已成为宁波市城市文化发展的重要标志和载体。

解放以来,在甬江流域上修建了多项涉水工程,其中对水沙特性有较大影响的工程有:姚江大闸1座,镇海拦海大堤1座,大中型水库17座,桥梁18座,以及码头212个,并且在河道两岸分布多座挡潮排涝闸。

2 水动力特性

甬江流域径流来源于降水,因此径流的时间和空间分布均与降水相似,其在年内分配上呈现两峰两谷。实测资料表明,姚江大闸多年平均排水量为11.39亿 m^3 ,奉化江和甬江的多年平均年径流量分别为16.855和30.3亿 m^3 。甬江河口为弱潮河口,属不正规半日潮,为往复流性质,每日有2个高潮和2个低潮。宁波站历年平均高潮位1.19 m,平均低潮位-0.5 m,多年平均潮位0.4 m。

1958年姚江大闸兴建前,姚江潮区界上溯至距宁波96.5 km的通明堰,大闸建成后,使得潮区界下移至闸下,甬江进潮量减少一半。1975年镇海港拦海大堤合龙后,甬江河道纳潮量进一步减小,白沙站进潮量减少14.3%。1990年后,随着城市发展进程加快,人类活动对甬江河床影响加剧,根据2010年7—8月全潮水文测验结果,当潮差为1.76 m时,梅墟断面的进潮量为1247万 m^3 ,甬江大桥断面的进潮量为1069万 m^3 ,落潮平均流量减小至435 m^3/s ,不同时期甬江潮量的变化,引起了甬江河床发生不同程度的淤积。

3 泥沙特性

甬江干流的泥沙来源主要是海域来沙。河道冬春含沙量大于夏秋含沙量,3月份为高峰,7和8月份为低谷,其平均值分别为1.27和0.79 kg/m^3 。甬江河道含沙量有从上游到下游逐渐增大的趋势,即越靠近入海口,含沙量就越大,同时大潮潮段的含沙量沿程变化幅度比小潮潮段大。据2010年7月各断面实测,大潮时最大、最小含沙量基本上大于小潮时的相应量值,大、小潮含沙量的垂线分布均呈现“表层低、底层高”的分布规律。

甬江河道的悬沙和底沙均以黏土质粉砂为主,其次为粉砂。悬沙和底沙的中值粒径范围分别为0.004~0.009 mm和0.010~0.118 mm。这种悬、底沙细而一致的性质,为海域来沙的属性,且决定了泥沙运动以悬移为主。河床底质以逆向分异为主,在洪期也会发生顺向分异。

4 河床演变

4.1 奉化江近期河床演变

奉化江的平面形态呈蛇曲形,是冲积平原上比较典型的蜿蜒型河道。20世纪中叶以后,随着地区经济建设发展,自宁波市开始,逐步将河岸建成浆砌块石的直立岸,如今市区的奉化江已是平面上有弯曲的人工渠化河道,基本上不具备河床大幅冲深和平面上横向摆动的条件。现对比奉化江鄞州大桥—三江口25个断面2004年11月至2009年8月间的测量资料(图1),各典型断面变化情况见表1。

从断面变化情况可见,有23个断面的宽深比增加幅度为6.64%~54.57%。从河床形态看,水深减小的幅度大于河宽,使宽深比值逐年增加,断面趋于宽浅。2004年11月至2009年8月期间,研究河段在宏观上呈现出以淤积为主的特征,累计淤积量达到168.59万 m^3 ,河段各处的年淤积厚度为0.5~8.6 cm,年平均淤积厚度为5.2 cm。沿程冲淤量及冲淤厚度见图2。淤积主要发生在河道主槽以及滩槽交界处,一些断面的左右岸冲淤交

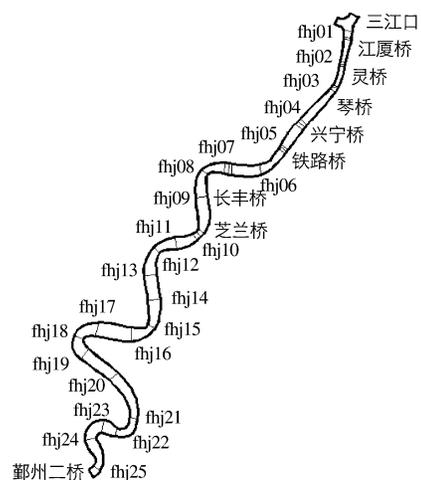


图1 奉化江断面位置

Fig. 1 Schematic diagram of cross section's location in Fenghua River

替发生,以及个别断面发生轻微冲刷. 自鄞州大桥至铁路桥为蜿蜒河段,河道具有凹冲凸淤的演变特点;铁路桥至三江口为顺直河段,河道整体淤积较为缓慢,但在河道的局部河段,由于河道宽浅,边滩存在明显的淤积. 此外,奉化江沿线的涉水工程建设对局部河段淤积影响较为突出.

表1 2004—2009 奉化江断面变化情况(部分断面)

Tab.1 Change of cross sections in Fenghua River during 2004 to 2009 year

断面号	\sqrt{B}/H		2004—2009 年冲淤比较		断面号	\sqrt{B}/H		2004—2009 年冲淤比较	
	2004 年	2009 年	断面积减少 百分比/ %	平均淤积 厚度/ cm		2004 年	2009 年	断面积减少 百分比/ %	平均淤积 厚度/ cm
fhj01	1.85	1.97	6.28	40.9	fhj14	2.91	3.68	21.00	103.8
fhj04	1.78	2.25	20.84	145.5	fhj17	3.47	4.18	17.08	75.2
fhj07	2.55	2.97	13.99	74.6	fhj20	2.71	3.32	18.25	94.0
fhj13	2.77	3.68	24.88	133.0	fhj25	1.62	2.50	35.31	259.5

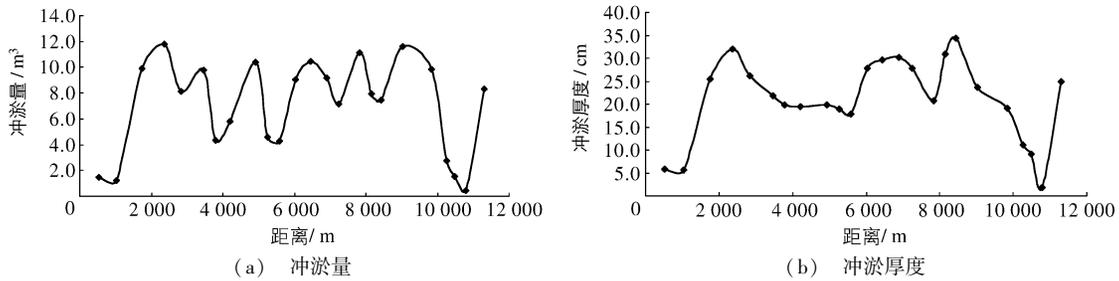


图2 奉化江沿程冲淤量和冲淤厚度(2004—2009 年)

Fig.2 Amount and depth of scouring and silting sediment of Fenghua River during 2004 to 2009 year

4.2 姚江近期河床演变

自1959年姚江大坝建成后,从大坝至三江口河段一直处于淤积状态,虽然姚江大坝放水对下游河道具有一定的冲刷作用,但由于放水量和放水时间的限制,闸下河段的冲刷量远小于回淤量. 对比三江口—永丰桥12个断面2005年10月至2010年8月间的测量资料(图3),各典型断面变化情况见表2.

由表2可见,从2005年10月至2009年8月,该河段处于全线淤积状态,累计淤积量约45.5万 m^3 ,各处淤积厚度为0.66~4.03 m,平均淤厚1.83 m,各处断面面积减小幅度为29.06%~93.57%. 整体而言,新江桥—解放桥河段的淤积严重程度要大于解放桥—永丰桥河段,前者淤积量比后者多6万 m^3 ,两者的平均淤厚分别为1.26和0.73 m. 姚江沿程冲淤量和冲淤厚度见图4. 姚江闸下至永丰桥河段的冲淤主要受大坝泄流影响,除局部深槽有所冲刷外,河床基本保持稳定;永丰桥至新江桥河段受大坝挡潮及沿线桥墩阻水影响,潮流动力较弱,河道处于单向淤积的状态;新江桥下游河段位于弯曲河道的凸岸,河道主流偏左,该河段主要受三江口水动力条件影响,冲淤特性表现为右岸边滩的淤长及三江口深槽的萎缩.

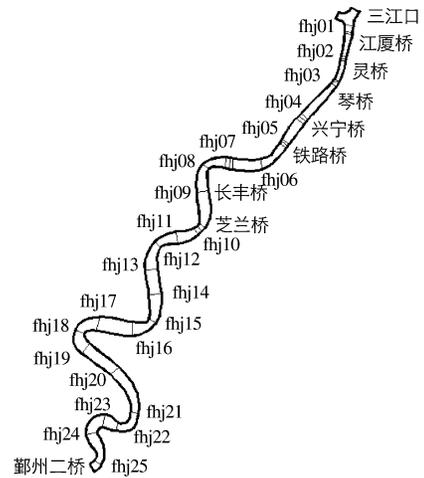


图3 姚江分析断面位置

Fig.3 Cross section's location in Yaojiang River

表2 姚江断面变化(部分断面)

Tab.2 Change of some river bed cross sections in Yaojiang River

断面编号	2005-10-2008-05		2008-05-2009-05		2009-05-2009-08	
	断面面积减少百分比/ %	淤积厚度/ m	断面面积减少百分比/ %	淤积厚度/ m	断面面积减少百分比/ %	淤积厚度/ m
YYJ01	24.6	1.203	40.7	1.501	28.2	0.616
YYJ04	45.1	1.751	3.2	0.074	17.1	0.352
YYJ07	9.1	0.222	0.8	0.020	19.1	0.420

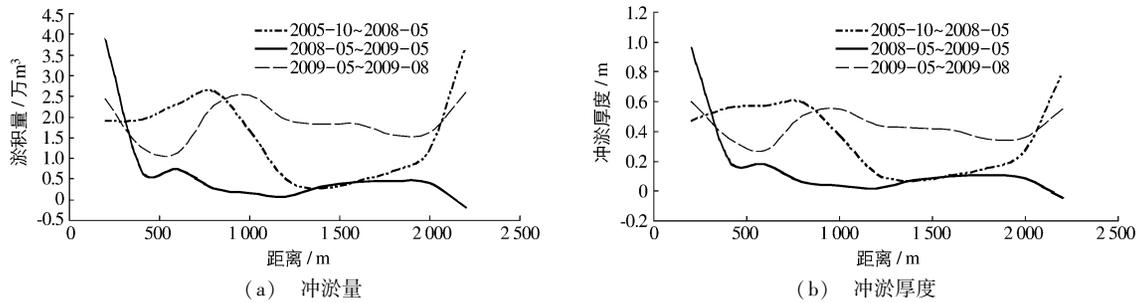


图4 姚江沿程淤积量和冲淤厚度

Fig.4 Amount and depth of silting sediment of Yaojiang River

4.3 甬江近期河床演变

自1959年以来,甬江河床经历了全河段强烈淤积-冲淤渐趋平衡-平衡打破再次淤积-冲淤动态平衡-缓慢淤积-边滩淤长的演变过程.1959年姚江大坝建成后,甬江进潮量减少一半,水动力条件大大减弱,而海域来沙条件又几乎不变,导致甬江全线河床发生普遍淤积,约经过13a的调整,甬江河床才基本达到新的相对平衡.1975年9月,镇海港拦海大堤合龙,甬江口门由原来的多向潮流改为单一潮流,原有的基本平衡状态再次被打破,镇海段河床和甬江河床发生不同程度的淤积.从1979年开始,航道部门和水利部门每年分别对甬江航槽和姚江闸下河床进行疏浚维护和清淤,甬江河床在此期间处于冲淤动态平衡期.

1986年后,随着城市发展速度加快,至2000年甬江沿岸码头总数达到181个,促使河道凹岸边滩进一步淤长,顺直河段的两侧边滩也开始淤积.同时期甬江流域建成14座水库,总库容达到5.9亿m³,不仅减少了甬江径流量,并且削弱了洪峰流量,进一步加剧了甬江的淤积.2000年后,三江上大规模新建桥梁,至2010年总数达到19座.三江口区域桥梁密度接近每千米2座,桥梁群效应开始显现,导致三江口区域水位壅高,涨落潮流速减缓,三江口边滩发生淤积,深潭下移,面积逐步萎缩.对比三江口-甬江口50个断面2004-2008年间的测量资料(图5),各典型断面变化情况见表3.

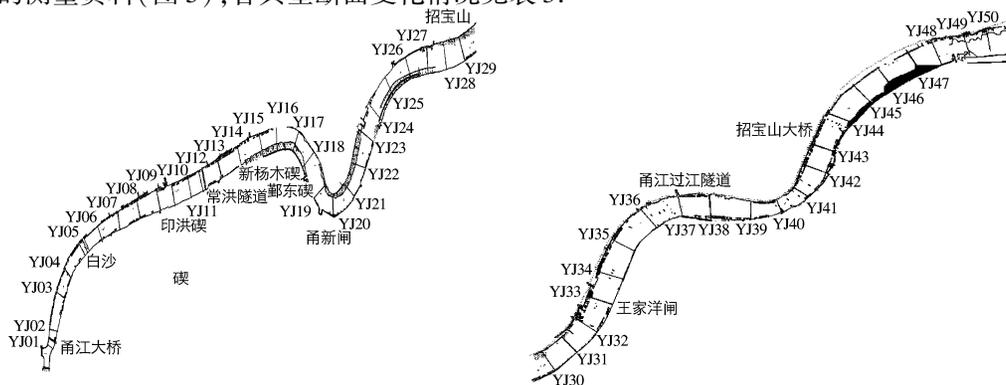


图5 甬江分析断面位置

Fig.5 Schematic diagram of cross section's location in Yongjiang River

表3 甬江河道断面变化(部分断面)(2004—2008年)

Tab.3 Statistical table of some cross sections' change of Yongjiang River during 2004 to 2008

断面 编号	2004—2008年			2008—2010年		
	断面面积减少/%	淤积厚度/cm	年均淤积厚度/cm	断面面积减少/%	淤积厚度/cm	年均淤积厚度/cm
YJ01	4.67	49.6	12.4	-1.76	-15.20	-7.60
YJ11	4.96	28.5	7.1	2.02	8.10	4.05
YJ21	8.26	47.7	11.9	-0.98	-4.55	-2.27
YJ31	2.03	11.0	2.7	7.51	41.32	20.66
YJ41	-3.69	-32.8	-8.2	7.70	59.98	29.99

注:“-”代表冲刷;平均每500m测1个断面.

由表3可见,2004—2008年,有37个断面面积不同程度地减小,甬江河道冲淤交替发生,但宏观上呈现淤积态势,淤积总量为36.2万m³.究其原因,在姚江大坝、镇海拦海大堤、沿线涉水工程阻水(码头、桥梁等)等影响下,甬江河道潮流动力较弱,河道处于缓慢淤积状态之中.

但与2008年相比,2010年发生冲刷和淤积的断面各为25个,冲刷总量为23.26万m³.虽然断面面积变化既存在自然因素(河道泥沙的自然冲刷和落淤),也存在人为因素(如各单位对局部河段的清淤),但这也说明尽管甬江河道处于缓慢淤积状态之中,但在遭遇大洪水时,如2009年8月的“莫拉克”台风,随着径流量不断增加落潮流量也大幅增加,河道主槽由缓慢淤积变为单向冲刷,但边滩由于淤积泥沙外露风干后固结,在洪水期难以形成冲刷.甬江沿程淤积量和淤积厚度见图6.

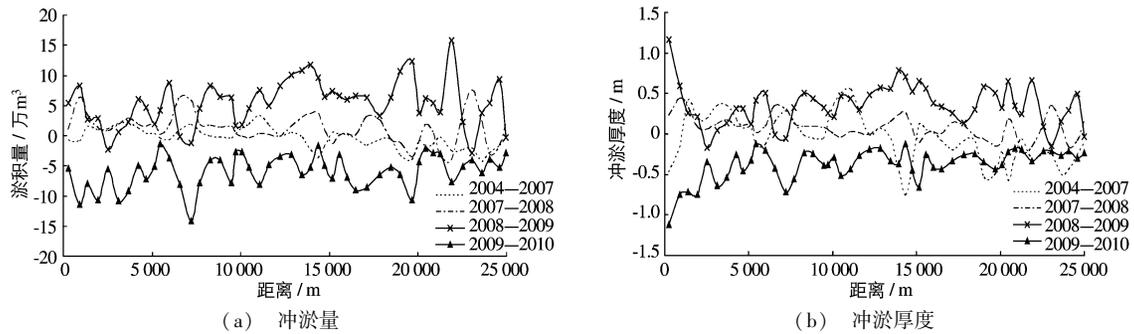


图6 甬江沿程冲淤量和冲淤厚度变化

Fig.6 Amount and depth of scouring and silting sediment of Yongjiang River

5 结 语

三江河道位于我国东部沿海,在河口类型上属于缓混合海相河口,其河床演变不仅受到上游径流和下游潮汐的影响,而且还对河床边界、泥沙条件等十分敏感.历史上三江河床较为稳定,河道处于相对冲淤平衡状态,1959年姚江大坝和1975年镇海拦海大堤两大工程的相继建成,使甬江进潮量分别减少40%和14%,从而引起甬江河道发生剧烈淤积以适应水动力条件的改变,之后分别经过13a和5a的调整才渐趋平衡.1985年后,受沿岸涉水工程(桥梁、码头等)、水资源开发利用(水库等)及人类活动(建筑垃圾和淤泥违规倾倒)等影响,甬江河道尤其边滩进入缓慢淤积期,但在遭遇大洪水时河道主槽会发生一定程度的冲刷.奉化江河道亦处于缓慢淤积状态,但总体淤积强度相对较小.姚江闸下河段在大闸不泄流的情况下水动力条件较弱,河道整体处于单向淤积状态之中.

参 考 文 献:

[1] 袁美琦. 甬江河道淤积问题的分析[J]. 水道港口, 1982(2): 11-14. (YUAN Mei-Qi. Analysis of sediment deposition of Yong River[J]. Journal of Waterway and Harbor, 1982(2): 11-14. (in Chinese))

- [2] 罗肇森, 马麟卿, 杨志龙. 甬江淤积问题分析及航道改善措施[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 1983. (LUO Zhao-sen, MA Ling-Qin, YANG Zhi-Long. Analysis of deposition problem and channel improvement measure [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1983. (in Chinese))
- [3] JIANG Chang-bo, CHEN Yong-kuan. Numerical simulation of separated flow near groyne[J]. Journal of Hydrodynamics, 2002, 14(4): 47-52.
- [4] SCHAFINGER U. Transport of a sediment layer due to a laminar, stratified flow[J]. Fluid Dynamics Research, 1993, 12(2): 95-105.
- [5] 沈承烈. 甬江的冲淤规律及其影响因素[J]. 杭州大学学报, 1983, 10(4): 534-544. (SHEN Chen-lie. Analysis of erosion and sedimentation of the Yong River bed and the factors affecting them[J]. Journal of Hangzhou University, 1983, 10(4): 534-544. (in Chinese))
- [6] 沈承烈. 甬江河床演变及航道治理[J]. 地理研究, 1988, 7(3): 58-66. (SHEN Chen-lie. The fluvial process of the Yong River and its channel regulation[J]. Geographical Research, 1988, 7(3): 58-66. (in Chinese))
- [7] 张定邦, 李春玲, 李旺生. 甬江河床形态与水力条件的关系[J]. 水道港口, 1984(1): 15-21. (ZHANG Ding-bang, LI Chun-ling, LI Wang-sheng. The relation between bed configuration and hydraulic situation of Yong River [J]. Journal of Waterway and Harbor, 1984(1): 15-21. (in Chinese))
- [8] 张定邦, 李春玲, 李旺生. 甬江河床演变分析[J]. 水道港口, 1986(3): 1-12. (ZHANG Ding-bang, LI Chun-ling, LI Wang-sheng. Fluvial process analysis of Yong River[J]. Journal of Waterway and Harbor, 1986(3): 1-12. (in Chinese))
- [9] 蒋建华, 苏纪兰. 甬江建闸前后冲淤特性的初步数值模拟[J]. 海洋学报, 1995, 17(1): 121-129. (JIANG Jian-hua, SU Ji-lan. Numerical simulation of sediment scouring and deposition before and after construction of Yong River barrier[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1995, 17(1): 121-129. (in Chinese))
- [10] 李文杰, 邵学强. 甬江流域入海径流量研究[J]. 浙江水利科技, 2007(3): 53-55. (LI Wen-jie, SHAO Xue-qiang. Research on runoff amount into sea in Yong River basin[J]. Zhejiang Hyrotechnics, 2007(3): 53-55. (in Chinese))

Water and sediment characteristics and their scouring and silting law in the three rivers of Ningbo

YAN Wen-wu

(Ningbo Water Resource and Hydropower Planning and Design Institute, Ningbo 315192, China)

Abstract: The water and sediment characteristic in Yongjiang River is described qualitatively from the point of view of changes in water runoff, tidal volume and sediment concentration in the history, then the principles of riverbed evolution in Fenghua River, Yaojiang River and Yongjiang River is illuminated. The river bed was stable previously, but the construction of Yaojiang barrage in 1959 and the sea wall in Zhenhai in 1975 caused marked siltation all over the river that making the river adjust to the change in water flow characteristic, and it took many years to recover balance. With the rapid development of economy, many projects are constructed on Yongjiang River such as reservoirs, bridges, wharfs and so on, which making siltation occur slowly in Yongjiang River especially the side beach. Fenghua River is also in the station of tempered siltation. The downstream reach of barrage of Yaojiang River is in the station of siltation due to the weak characteristic of flow when the barrage is closed. The research of the principle of riverbed evolution of Yongjiang River can improve the theory of riverbed evolution of the tidal estuaries and provide suggestions for siltation remove in the similar tidal estuaries.

Key words: hydraulic projects; water and sediment characteristic; riverbed evolution; Yongjiang River