



钱塘江河口特征 治理开发的简介

韩曾萃

浙江省水利河口研究院

二〇〇七年十月



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

一、河口的定义及其重要性



➤ 河口定义

萨莫依莫夫：河口是河流到海洋的过渡段，根据河流和潮汐动力的强弱又分为河流段（河流径流作用为主、潮汐作用微弱）、河口段（河流动力与潮汐动力相当、相互作用段）及潮流段（潮汐动力为主，径流作用微弱）。

普瑞查得，《从物理学观点论河口》：河口是一个与外海自由连通的半封闭海岸水体，其中的海水可以量测出被陆地径流冲淡。

钱塘江流域面积55558km²，主流长668km，它上至富春江电站下游2km的溜江滩，下至上海芦湖港至镇海断面，全长282km，从溜江滩至闻家堰全长78km，为河流段。闻家堰至澉浦全长122 km为河口段，澉浦以下至芦湖港—镇海断面全长82 km，为潮流段。

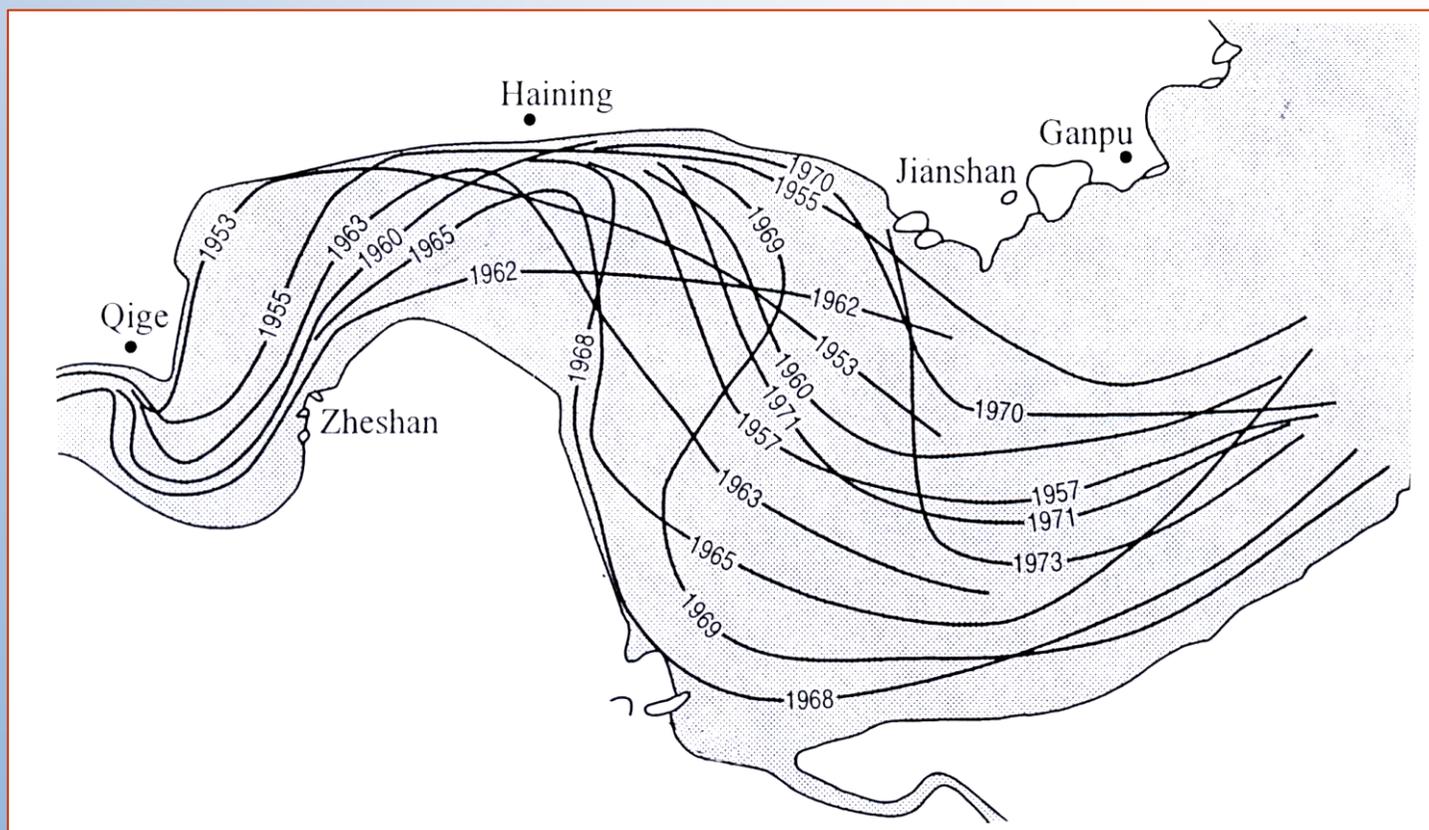
➤ 河口的重要性

- ◆ **在国民经济中占重要地位** 河口地区：面积占全国总国土面积的3%，人口占全国人口总数的11%（2002年），GDP占全国的GDP总数33%（2002年）；河口、海岸地区（即东部平原）：面积占全国总面积的10%；人口占全国总人口的30%（2002年），GDP占全国GDP总数的50%（2002年）。同样浙江省的东部平原及钱塘江等河口也大体上占浙江省类似的百分数。
- ◆ **为重大自然灾害频发地区** 河口海岸是洪水、风暴潮（另外还有海啸、赤潮、海平面上升等灾害比较少但存在）等重大自然灾害频发的地区。
- ◆ **是多学科研究的对象** 这里的水流状态复杂，既受径流、又受潮汐的影响，其流场、污染物浓度场、温度、盐度场、都是非恒定状态，而且是二维、三维的现象明显，滨海湿地、生态环境问题日显突出，正是多学科研究的对象。
- ◆ **各行业项目众多** 城市建设、环境保护、能源交通在这里项目众多，因此受到多部门的密切关注。



二、钱塘江河口的河床、动力特征

(1) 河床平面摆动频繁、幅度大，造成不能形成航道的深泓线摆动大、抢险被动、处处防守。

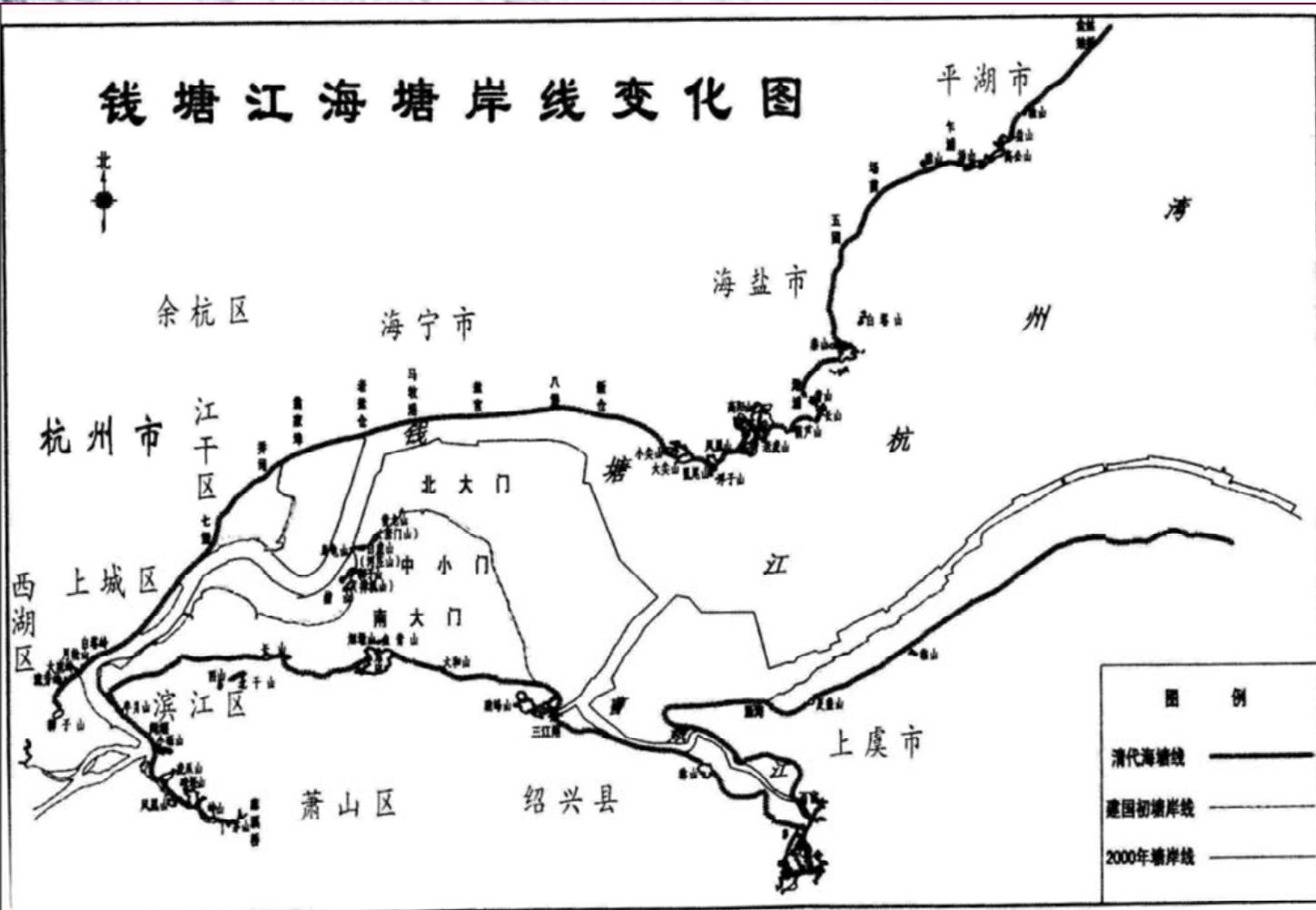


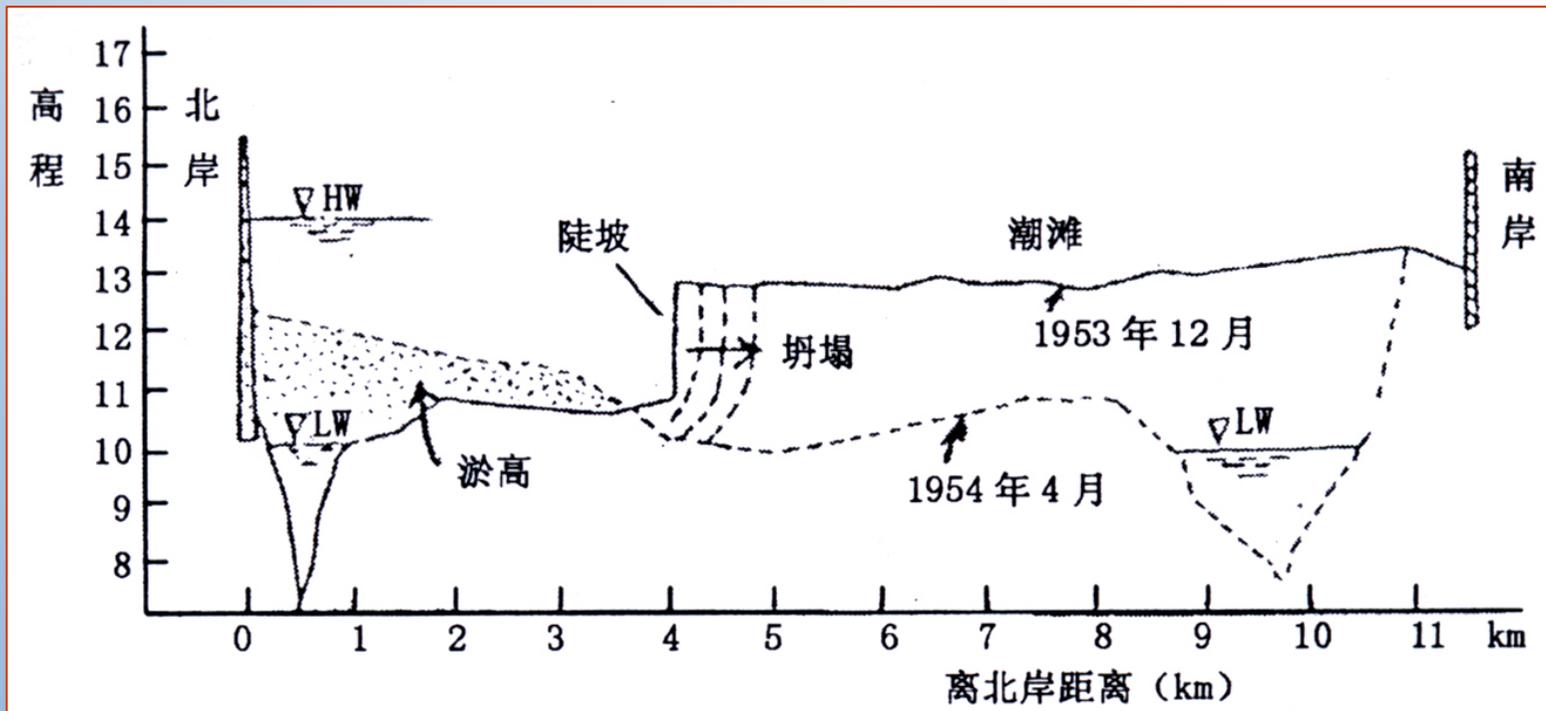
钱塘江河口平面摆动



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

钱塘江海塘岸线变化图





盐官断面主槽从北岸摆向南岸的剖面变化图

(2) 潮差大、潮流强、涌潮壮观世界第一





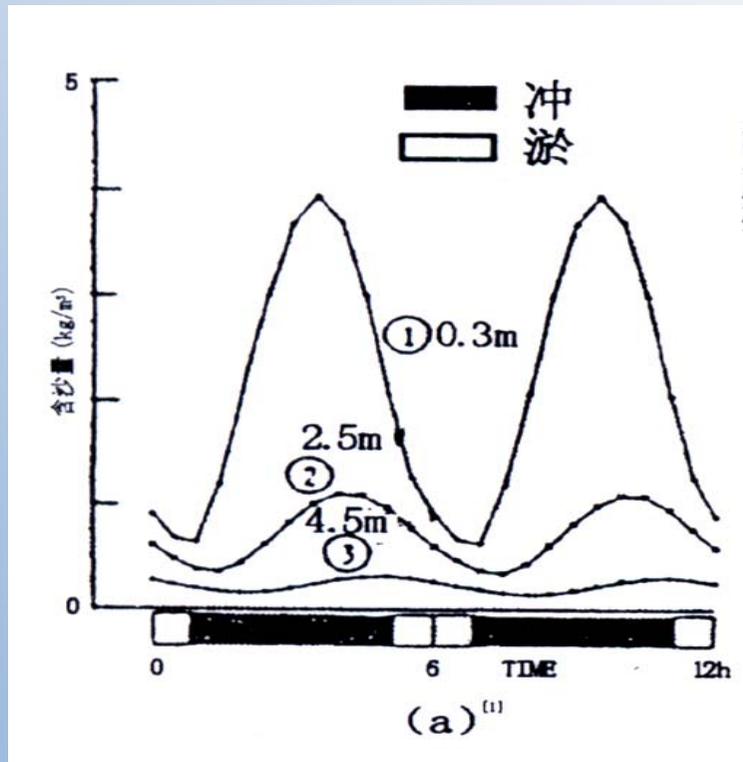
(3) 河流宽浅、涨落潮流路不一致为游荡性河口

因河床为易冲的粉沙，而涨潮动力特强，涨落潮流路又往往不一致，产生了河床宽浅的显著特征。宽深比 $\sqrt{B/H} = 35-50$ ，比著名的游荡性黄河宽深比 20~30m 还要大。一年之内的丰水期与枯水期深泓交替变化，多年之间又由于丰枯径流的变化，主泓也相应变化，形成典型的游荡性河口，使得大量的潮间带滩涂无法开发利用。

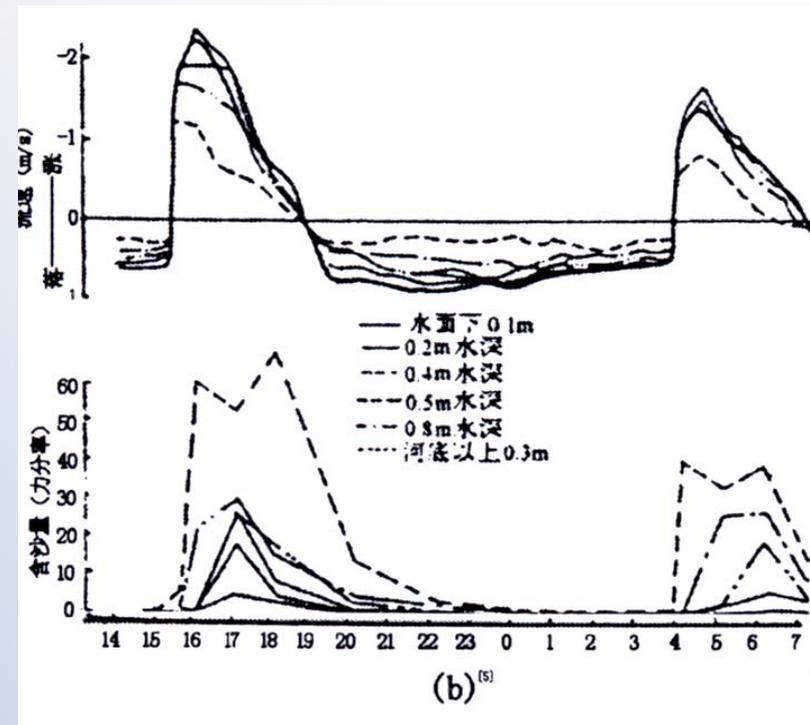
➤ 原因分析

(1) 钱塘江河口年内输沙表现纵向“上淤下冲”或“冬淤夏冲”和“上冲下淤”或“夏冲冬淤”的大规模泥沙纵向泥沙交换。

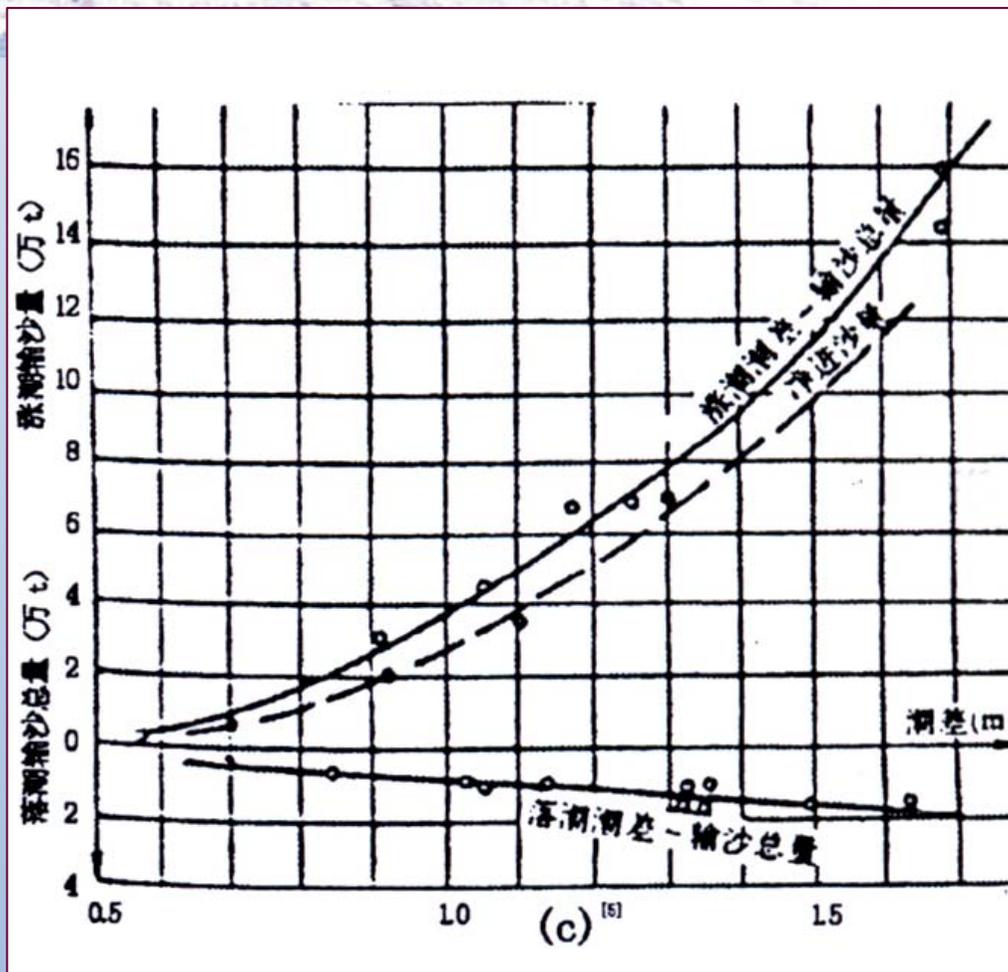
河口的潮波系统从外海传入河口后，由于河床阻力的作用，涨潮历时缩短，落潮历时加长，当上游径流较小时，涨潮流速大于落潮流速，涨潮含沙量远大于落潮含沙量，即在一个潮周期中，同一潮差， $V_f > V_e$ ，输沙量 $G_f > G_e$ 产生了“上淤下冲”或“冬淤夏冲”。洪水期间，上游 $V_e > V_f$ 则 $G_e > G_f$ ，表现为“上冲下淤”或“夏冲冬淤”。年内周而复始，年季间可基本平衡，一年以内搬运的泥沙在钱塘江全河段可达2~4亿，特殊年分更大。



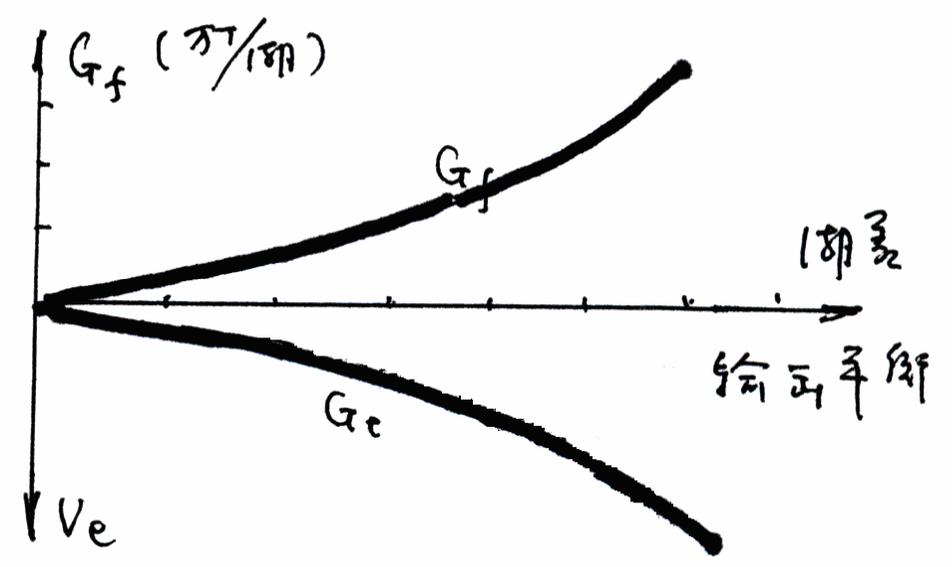
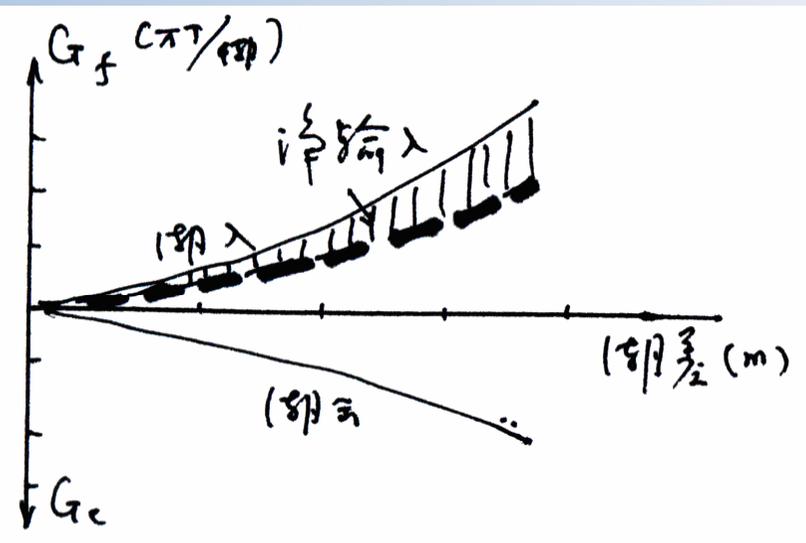
一个潮内分层含沙量的全潮过程



涨、落潮的含沙量分层过程



闸口潮差一涨（落）输沙率



仓前、盐官净输沙量与潮差的关系

尖山净输沙量及与潮差的关系

表1 钱塘江河口纵向冲淤变化（累积量1983/4-7-11月）单位：4m³

断面号	冲刷量（4-7月）			淤积量（7-11月）		
	实测	计算	误差	实测	计算	误差
闸口	416	455	9%	-354	-489	38%
四堡	2723	1922	29%	-1900	-1614	15%
七格	4795	3310	30%	-4590	-3700	19%
仓前	7561	5300	30%	-5600	-5180	7%
盐官	10390	8470	18%	-9600	-7000	27%
旧仓	12000	10247	15%	-4590	-5400	18%
尖山	12400	11300	9%	-3800	-2400	36%

表2 钱塘江河口大淤、大冲数量（亿方）

不同河段	1996年11月-4月淤积	1997年11月-98年4月
闸口-七堡	0.68	0.23
七堡-仓前	0.65	1.06
仓前-盐官	1.64	2.44
总计之和	2.97	4.73



(2) 纵向沙坎的存在是形成涌潮及宽浅的主要原因

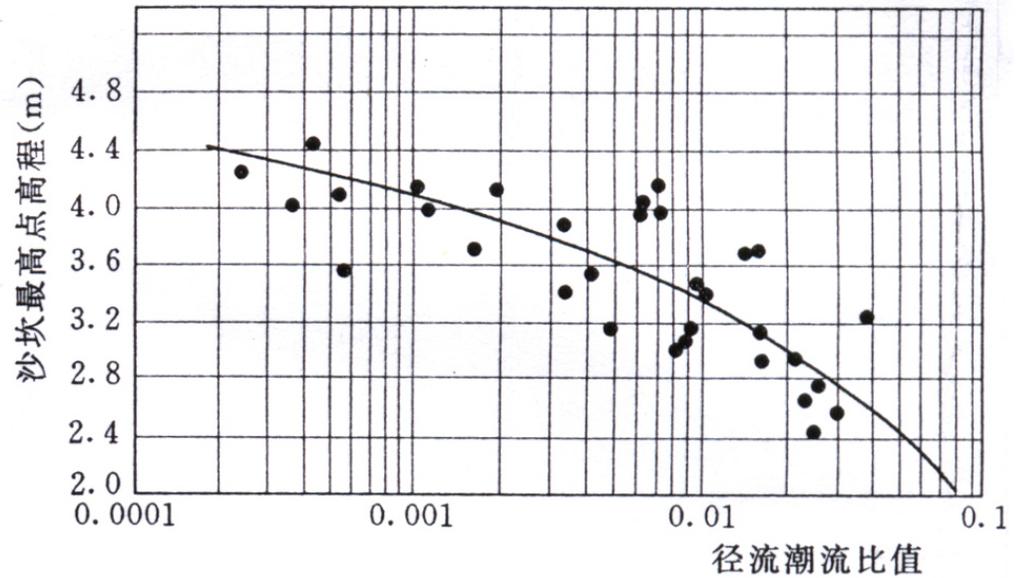
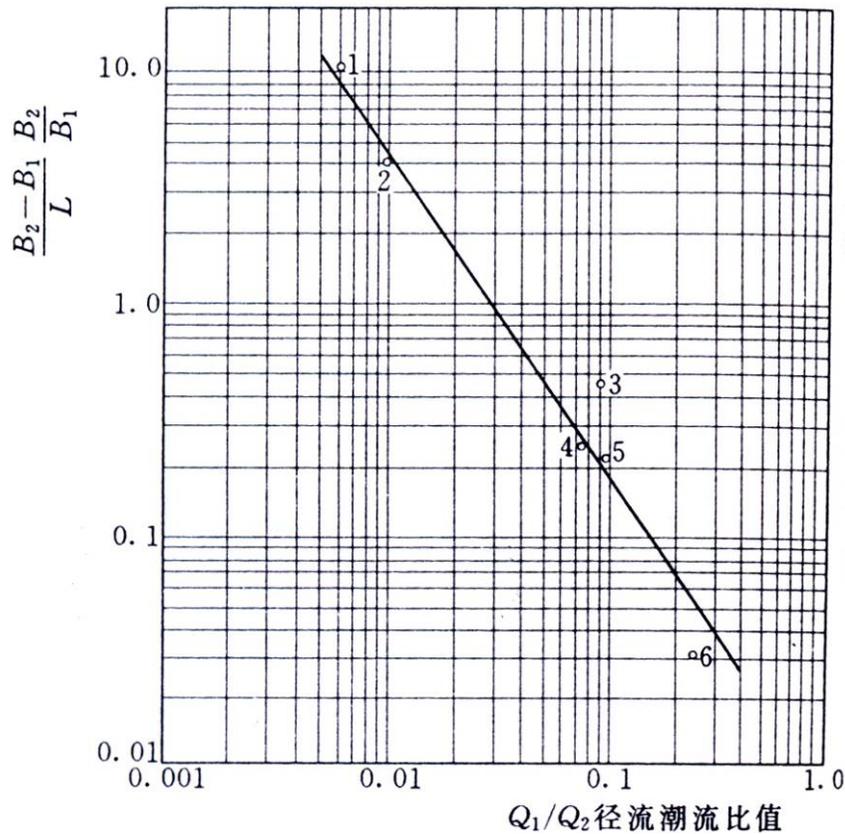
钱塘江河口沙坎是河口来水、来沙和边界三者的产物，沙坎与杭州湾喇叭外形外海传播的潮能聚集、潮量大、径流小等因素有关，强潮河口常用山潮比值表征其大小即：

$$\alpha = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\text{山水造床流量}}{\text{口门处平均涨潮流}} = \frac{[\sum_{i=1}^n Q_i^2 / n]^{1/2}}{\bar{W}_f / T_f}$$

式中： Q_i 为多年平均流量中第*i*日的日平均流量， n 为一年365天。

\bar{w}_f 为河口口门断面平均潮的涨潮潮量。

T_f 为河口口门断面平均涨潮历时。



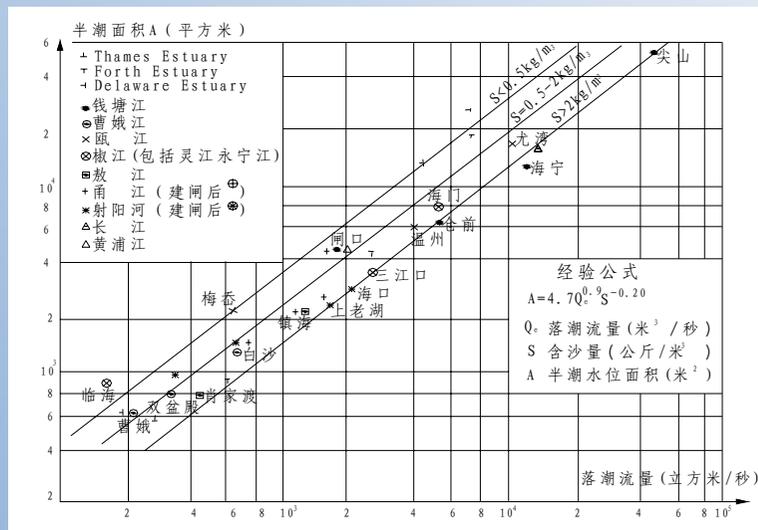
径流潮流比值与沙坎最高点高程间的关系

河口平面外形与径流潮流比值间的关系

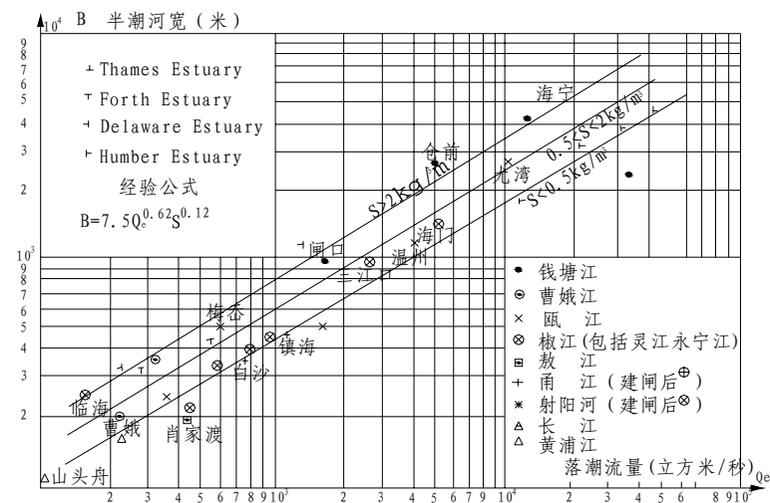
1-泰晤士河； 2-钱塘江； 3-韦沙河； 4-敖江； 5-瓯江； 6-曹娥江

原因分析

(3) 钱塘江河口（含杭州湾）的河宽远比正常河宽大，为其平面摆动提供了自由空间，也为缩窄江道治江结合围涂提供了理论依据。



半潮水位面积的河相关系



半潮水位河宽的河相关系

原因分析

表3 钱塘江河口断面特征值对比表

断面名称	盐官	尖山	澉浦	乍浦	金山	柘林	口门
$A_{\text{计}} \text{ (m}^2\text{)}$	7060	33300	122000	3.2×10^5	4.6×10^5	7.0×10^5	10.8×10^5
$A_{\text{实测}}$	6590	30230	129500	3.2×10^5	4.8×10^5	7.7×10^5	11.5×10^5
%	5.1%	8	3.4	11	2	9.3	6
$B_{\text{计}}$	1783	6000	117900	1.8×10^4	2.2×10^4	2.9×10^4	3.8×10^4
$B_{\text{实}}$	1877	7090	193000	2.6×10^4	4.5×10^4	7.8×10^4	9.8×10^4
%	26	50	38	52	45	62	62
$H_{\text{计}}$	3.8	5.3	9.8	17	20	24	28
$H_{\text{实}}$	2.1	3.0	6.4	12.1	10.55	9.9	11.6
%	40	37	56	80	150	140	141



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

三、钱塘江河口治理目标

1、减轻、减少钱塘江河口两岸的洪水、台风暴潮灾害

宋朝初年至民国的950年间，河口两岸破堤202次，每5年一次。其中洪水占15%，风暴潮、台风、涌潮破堤占85%；北岸占53%，南岸35%，两岸同时破堤占12%。

民国以来，1933~1944年毁塘2km，1941~1946年萧山失地30万亩，灾民达6万之多。1953年翁家埠的海塘冲毁多处，海塘7240m被临水和塘脚冲。

以后1956年的“81”台风，1974年、1994、1997等的台风对钱塘江新围堤身、老堤堤身都有不同程度的损毁。





2、河口资源的开发和保护

- ➡ 土地资源
- ➡ 淡水资源
- ➡ 航运资源
- ➡ 旅游、古迹、文化资源
- ➡ 水环境资源



(1) 土地资源

塘江河口至今（2005年）共围160万亩，现在“环杭州湾工业园区”绝大部分都建在新围的滩涂上，今后将有数千亿的产值在这篇新土地上产生。

(2) 淡水资源

开发限制因素：时间上分布不均匀，受咸潮入侵影响，水质恶化，环境和生态需水量大根据最近对河口生态需水量的研究，钱塘江河口环境和生态需水量占多年平均径流的80%，因此可用水量应控制在多年平均径流的20%。

(3) 航运资源

钱塘江河口有乍浦港、北仑港、大小洋山港等万吨及廿万吨级的港口，欲开发绍兴、萧山、上虞等3000吨级的出海港口。

除航运资源外，钱塘江河口两岸有300km的岸线，有近百公里的岸线可以作为航运资源，应深水深用，浅水浅用外，还应考虑排污口、排涝闸、油管线路电缆及旅游的岸线，合理规划岸线的分类、分级使用也十分重要。



(4) 旅游、古迹、文化资源

钱塘江河口以其潮差大、潮流凶猛、涌潮壮观而闻名于世，世界有涌潮的Hoogly（印度）、Amazon（巴西）、Serpen（英国），但其潮头高均小于2m，而钱塘江河口潮头达3.5m，且有交叉潮、回头潮等景观。

(5) 水环境资源

目前钱塘江河口T-P、T-N、NH₃-N、油等类污染物已严重超标，COD_{cr}（COD_{mn}）还有一定的容量，因此当务之急是做好钱塘江河口（含杭州湾）的环境规划，论证排放口设置的布局，修复其超标部分的环境容量。



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

四、治理开发方案比选及关键技术



➤ 方案比选

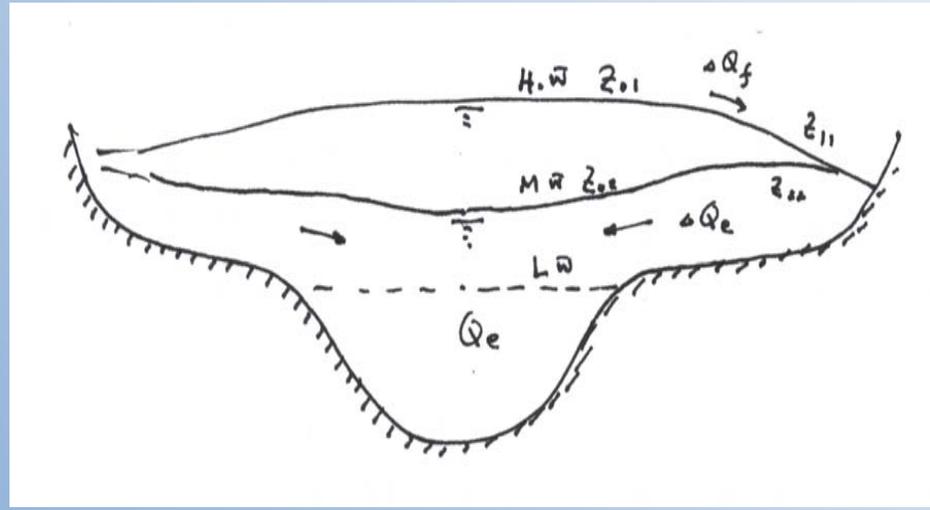
(1) 建闸方案

(2) 潜坝方案

(3) 全线缩窄方案

全线缩窄方案中的技术争议

(1) 海塘塘脚是否因缩窄被冲深危及安全



涨、落潮时水位、流量主槽补给

涨潮时 $z_{01} > z_{11}$ $Q_{of} = Q_{of} - \Delta Q_f$
 落潮时 $z_{01} > z_{12}$ $Q_{oe} = Q_{oe} + \Delta Q_e$

$$H_e = 0.62 Q_e^{0.28} S_e^{-0.34}$$

$$\frac{H_{e1}}{H_{e2}} = \left(\frac{Q_{e1} + \Delta Q_{e1}}{Q_{e2} + \Delta Q_{e2}} \right)^{0.28} \left(\frac{S_{e1}}{S_{e2}} \right)^{-0.34}$$

$$\Delta Q_{e2} = 0$$

$$\frac{H_{e1}}{H_{e2}} = \left(\frac{Q_{e1} + \Delta Q_{e1}}{Q_{e2}} \right)^{0.28}$$

$$Q_{e1} + \Delta Q_{e1} > Q_{e2} \text{ 则 } \frac{H_{e1}}{H_{e2}} > 1 \quad \therefore H_{e1} > H_{e2}$$



经过40年的实践，七格、仓前、盐官的河道分别比原河宽缩窄了20、50、80%，出现三种情况：

◆ 闸口-仓前：河宽缩窄20%内，径流的冲刷增大，潮量减少有限，河床冲深1m左右。

◆ 仓前-盐官：河宽缩窄50%左右，山水冲刷有限，以潮动力为主，结果河床淤0.5 - 1.0m。

◆ 盐官-尖山：河宽缩窄了50 - 80%，滩地潮量大量减少，结果河床淤积1 - 2m。

证明当时的决策是正确的，河床并未发生大幅度的冲刷，有冲有淤，上游径流起主导作用为冲刷，下游潮汐起主导作用的淤积。



(2) 缩窄后对杭州市洪水位的抬升是否明显

- ❏ 治江缩窄后避免了极端弯曲的河势，降低洪水0.4m；
- ❏ 治江缩窄使两岸边滩失去蓄洪能力，抬高洪水0.2m；
- ❏ 治江缩窄上游河床主槽略有冲刷，下游河床较大幅度淤积，其结果是洪水位抬升0.4m；
- ❏ 考虑河口延伸等因素，杭州处的洪水位最终抬升0.3m左右。



(3) 对涌潮景观的影响

70年代：只看到涌潮对两岸滩涂、海塘及其他建筑物的破坏作用，因此在治江思想上是削减涌潮、消灭涌潮；

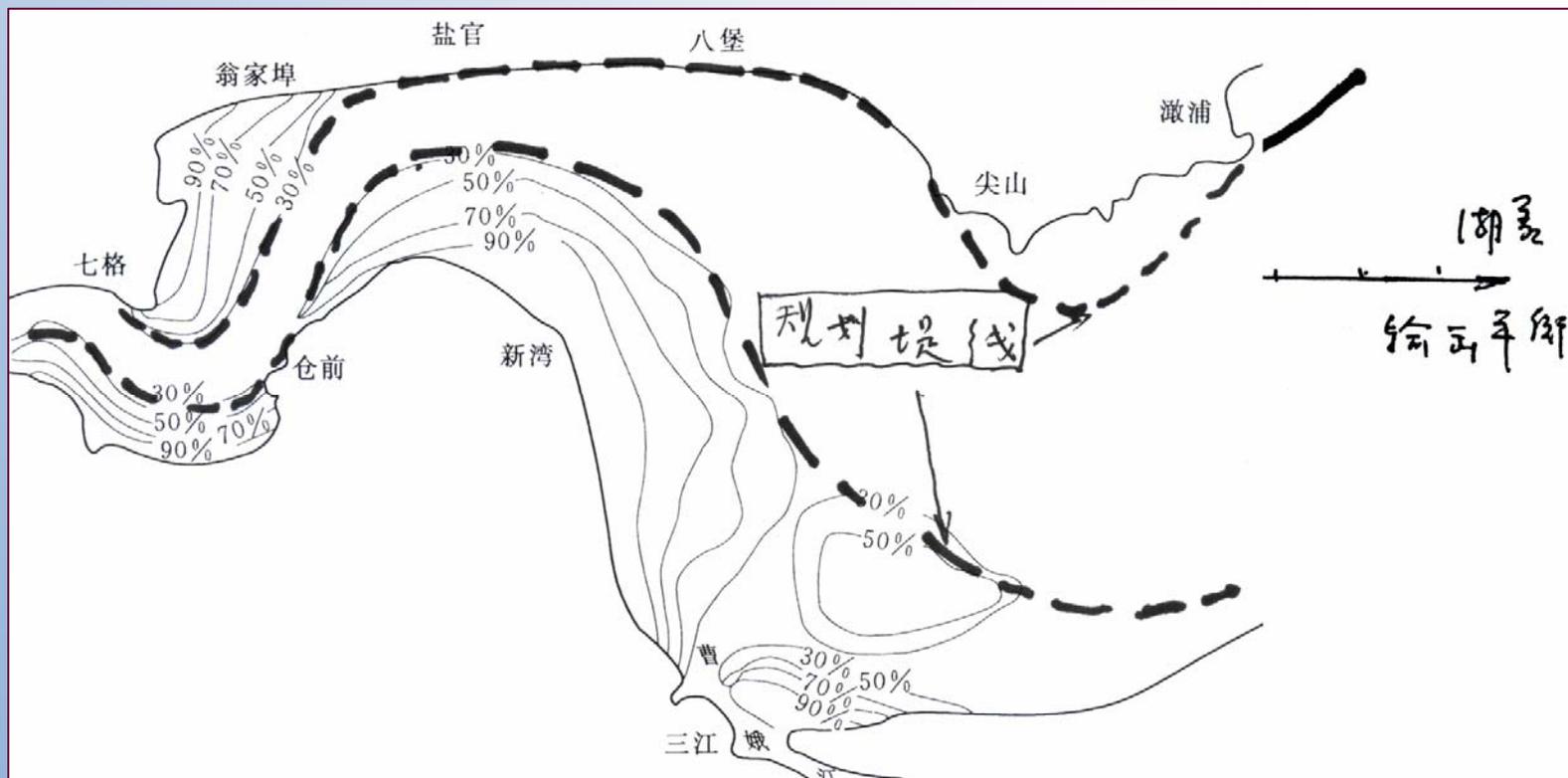
80年代以来：对自然景观的保护意识加强，为此在规划江道走线、涉水建筑物如桥梁、码头都注意对涌潮潮头高度、涌潮的多样性都加强研究。

总的认识是：涌潮是宏观地貌（收缩和沙坎抬升）形成的，江道缩窄使总潮量有所减少，但对单宽潮量并未减少，因此并未削减涌潮的潮头高度，相反因高水位抬升大于低潮位的抬升，多数地段潮差增大，涌潮是增加的。



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

治江缩窄工程的实施方法



高滩保存几率等值线图及规划堤线



☞初期：利用江道平面摆动的有利时期，当高滩已在规划线内时，组织群众抢围，“以围代坝”；做到“围涂服从治江”和“治江结合围涂”。

☞中后期：当高滩已经用完，自上而下，控制落潮流，按规划线的方向和要求抛筑丁、顺坝，使其丁顺坝的隐蔽区形成回流淤积区，逐步淤高，在曹娥江口的控制出口方向两岸抛坝及尖山河段海宁围区都是比较成功的范例。

☞整个治江围涂以1965至1975年45万亩，到1985年为70万亩，到2005年为120万亩（含杭州湾为160万亩）。



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

五、实施整治效果的检验

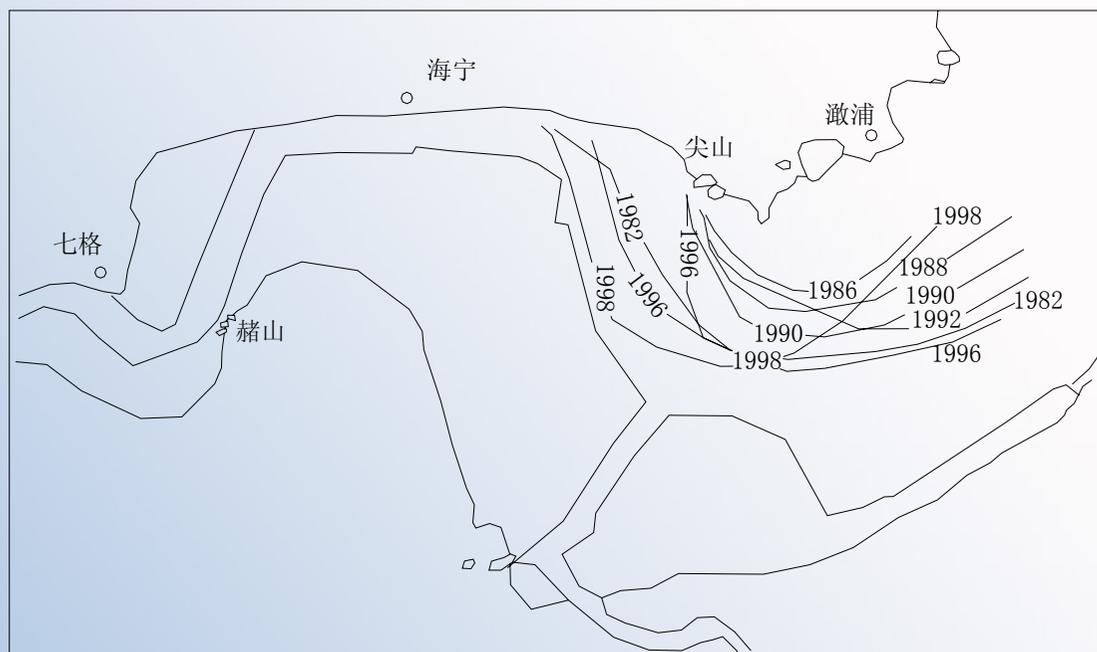


➤1、自然条件的变化

(1) 控制了河道的平面大幅度摆动，改善抢险和排涝条件

● 闸口-尖山河道基本上接近规划堤线，使原来3~20km宽的河段逐步缩窄为1.2~9km宽的河道，江道的平面摆动幅度大为降低。仓前以上，由5km减为1.5km宽；盐官-仓前，由5-10km减为2km；盐官-尖山，由10km-20km减为3-9km。

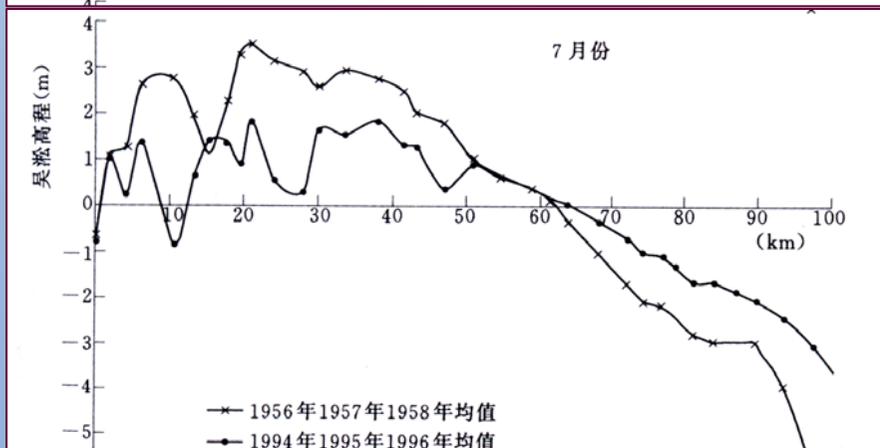
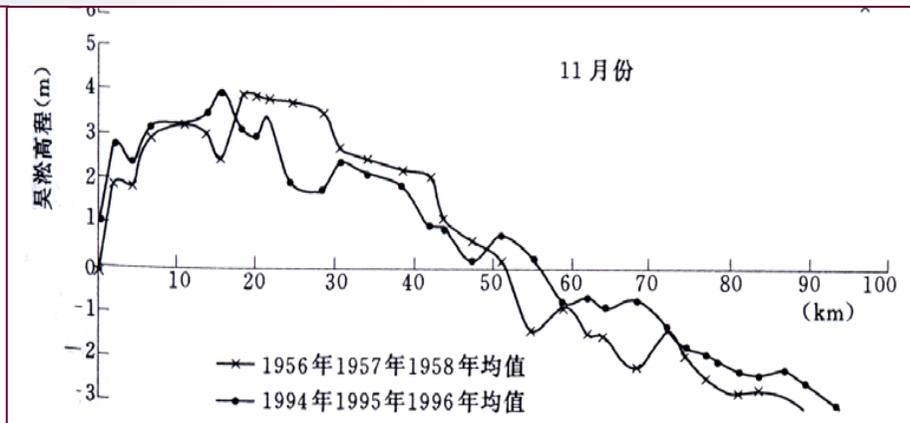
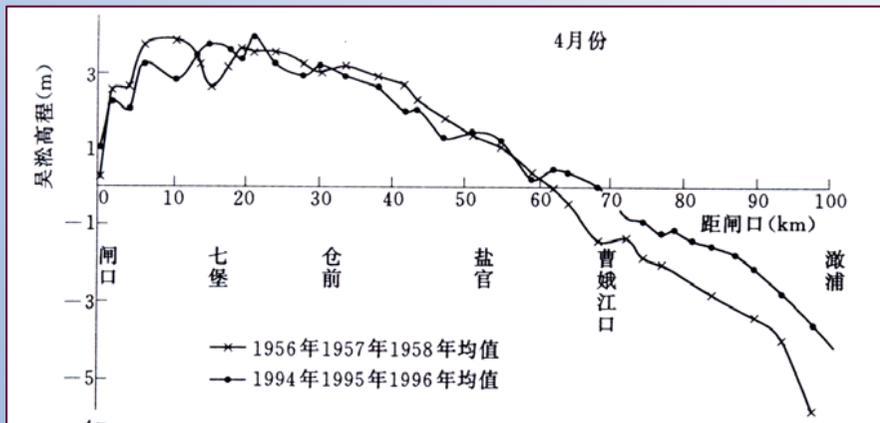
● 两岸排涝闸低潮位降低，排涝水流条件改善明显。



治江围涂后主流变化



(2) 沙坎的顶点高程有小幅下降，顶点的平面位置逐步下移



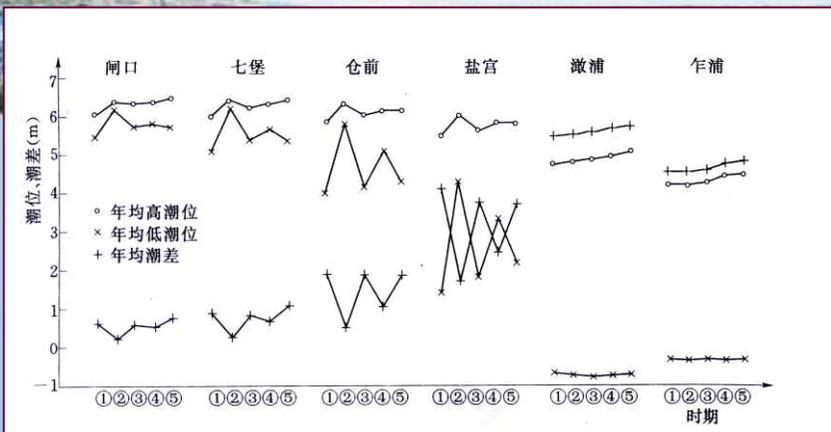
口门激浦断面大潮潮量由40亿 m^3 减少为30亿 m^3 ；中潮潮量由30亿 m^3 减少为23亿 m^3 ；小潮潮量由20亿 m^3 减少为15亿 m^3 。其他断面也相应减少。因此山潮水比值由0.03减为0.02，4、11月沙坎顶高程变化不大，但7月顶点下降1-1.5m，沙坎顶点下移10km左右。



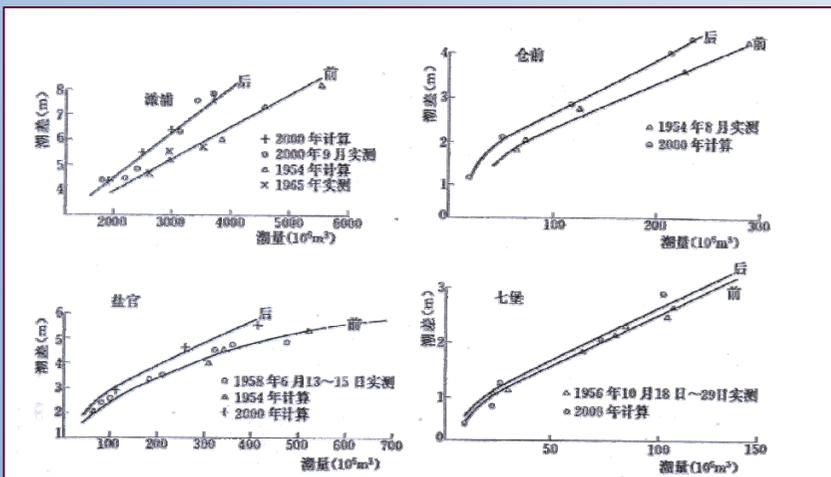
(3) 潮汐特征值的变化

表4 潮汐特征变化

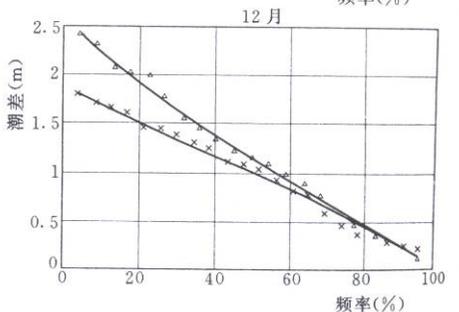
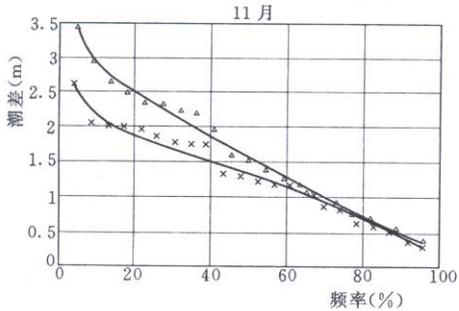
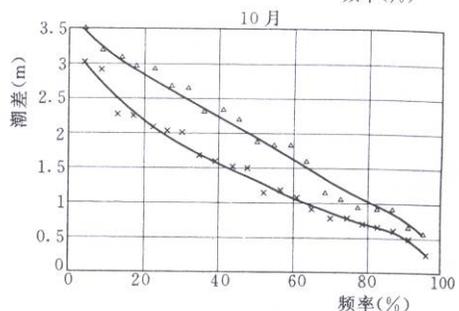
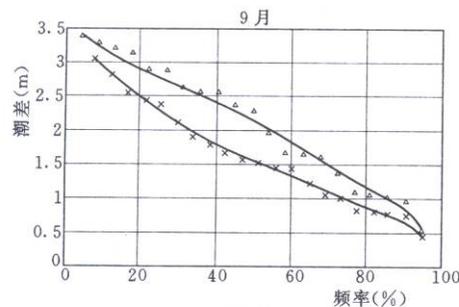
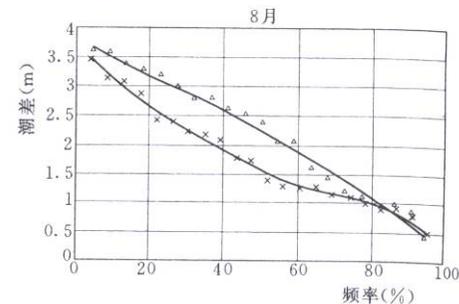
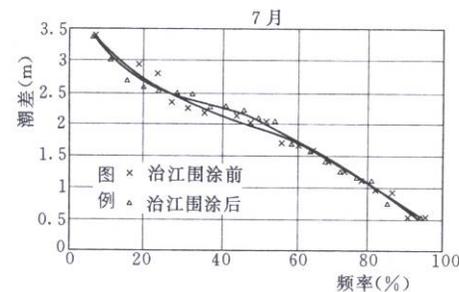
站位	乍浦	澉浦	盐官	仓前	七堡	闸口
高潮抬升 (m)	0.2	0.35	0.45	0.6	0.80	0.60
低潮抬升 (m)	0	0	-0.8	0.1	0.20	0.20
潮差增加 (m)	0.2	0.35	-0.35	0.5	0.60	0.40
涨潮历时	0	0:10	0:20	0:30	0:25	0:20



各站分时期潮汐特征三年均值变化图



各站治江围涂前后潮差—潮量关系线



七堡站治江围涂前后历年7~12月各月最大潮差频率曲线



(4) 盐水入侵的变化

情况	统计指标	闻堰	珊瑚沙	闸口	南兰桥	七堡
治江、建库前	连续超标 (d)	9	10	11	13	14
	半天超标 (d)	11	13	14	15	15
	最大值 (mg/L)	2600	3400	3980	4600	4800
	同日最小值 (mg/L)	650	1190	1390	1970	2000
建库后治江前	连续超标 (d)	0	0.5	0.6	6	10
	半天超标 (d)	0.3	8.8	9	12	14
	最大值 (mg/L)	466	900	1287	1770	3202
	同日最小值 (mg/L)	69	110	153	281	580
建库后治江后	连续超标 (d)	0.6	1.2	6	9	10
	半天超标 (d)	9	10	11	14	14
	最大值 (mg/L)	811	1736	2106	2730	2880
	同日最小值 (mg/L)	11	212	287	499	860



①治江围涂由于使七堡的潮差增大了0.70m，使其潮量增加，盐水入侵是加强的；但近10年由于尖山河段弯道的实施，一定程度减少了盐官、仓前、七堡的潮差，盐水入侵又有一定程度的缓和。

②新安江水库径流增加约 $200\text{m}^3/\text{s}$ ，对咸水入侵的减缓作用巨大；特别是杭州河段改善明显；

③综合二个主要因素的结果，还是新安江水库建造后增大枯水流量作用大于围涂的负作用，最终对杭州以上河段在防咸作用巨大。



➤2、社会经济的变化

(1) 直接经济价值的对比，产出是投入的近10倍

投入	产出
60年代国家投入0.04亿/年	70年代农业0.5亿/年，工业10亿/年
群众投入0.1亿/年	养殖1.0亿/年，共11.5亿/年
30年共计4.2亿	30年按20年计为230亿（前10年不计）
90年代国家投入5.6亿	95年萧山、绍兴、上虞产值150亿/年~600亿/年
群众投入20亿	近10年里计3500亿，共3700亿
合计 <35亿	按10%为土地贡献率则年利373亿



(2) 河道整治的效益

- ① 防洪、防台的安全逐步提高，存在二线、三线海塘、大大增加了其安全的程度，减少了海塘的维修费，维修费按0.2亿/年计，则40年的维修费为8亿元，而防洪损失（经济价值）平均达2亿/年，计40年为80亿，是投入的10倍。
- ② 河道堤防的安全使社会经济基本建设更加稳定、安全。
- ③ 河道向更稳定方向发展，对整个国民经济如涉水建筑物的建设都可减少风险，对城市、环境、交通、能源、许多部门都是有利的。



(3) 土地资源的增加对稳定国土面积，发展工业新园区具有战略价值，价值无法比喻

浙江省人多地少，近年因人居用地、城市发展基本建设用地，损失耕地面积巨大（达数百万亩），今后仍有损失。

为稳定基本农田面积及缓和用地紧张，浙江省最具战略意义的是新围滩涂面积。这里水资源丰富，与城市近，环境条件好，环杭州湾的新工业园区都在这一带发展，其土地的开发投入为1万元/亩，而目前的土地实际市场价值是10~15万元/亩，相距10~15倍。

2020年钱塘江河口综合规划，有50万亩的新增土地，相当于500~750亿产值，这是一笔巨大的财富，是无法用货币计量的。



Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
浙江省水利河口研究院

六、钱塘江河口尚存在的问题



➤1、建设管理中存在的问题

- (1) 尖山河段的治理尚未完成
- (2) 水质环境污染有愈加严重的趋势
- (3) 水资源的统一管理有待加强
- (4) 滩涂湿地的保护与开发应当并重
- (5) 实施《钱塘江河口综合规划》还需大量的科研工作。

➤2、学术技术上的问题

①对水流（潮流、余流、环流）结构及其细部结构还不很清楚，计算所用的各类模型并非十分有把握，流与波浪的藕合作用也不清楚，风暴潮的预报也欠准确。

②泥沙运动的机理不清楚，如何准确地预测冲、淤的部位、数量，仍以经验为主，理论上并未获得重要的突破。

③水工结构物（堤塘本身结构）的设计理论比较陈旧，分析方法停留在50-80年前的滑动稳定分析的方法，新理论如可靠度、风险分析……方法尚未在水利部门广泛应用。



④水环境、生态、有毒有害物质在水体、河床质之间的交换、传输、扩散过程未作出更精细地描述和定量预测，许多点源、非点源的污染物总量，时空分布尚未做工作。

⑤综合性、系统性的规划理论缺乏先进的论证手段，定性的主观性的结论还无法避免。



谢谢!