

“十三五”国家重点图书出版规划项目

钱塘江

Research on Conservation and Regulation of Qiantang Estuary

河口保护与治理研究

浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） 潘存鸿 韩曾萃 等◎著
Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary
(Zhejiang Institute of Marine Planning & Design) PAN Cunhong HAN Zengcui



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

“十三五”国家重点图书出版规划项目

钱塘江

河口保护与治理研究

浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） 潘存鸿 韩曾萃 等◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

钱塘江流域依托钱塘江创造了灿烂的古文明,而近现代钱塘江河口的治理也进一步促进了浙江的飞跃发展。进入 21 世纪,钱塘江河口从治理开发为主、保护为辅,逐渐过渡到治理开发与保护并重,再到保护为主、治理开发为辅的新阶段。本书系统总结了钱塘江河口河床演变、涌潮模拟、超标准风暴潮、盐水入侵、河口水环境、河口生态环境需水、河口治理评估等方面内容,是最近 10 余年来众多科技人员研究成果的结晶,具有重要的参考价值。

本书可供水利、海洋、航道、地理地貌等专业的研究、开发和管理人员参考,亦可供相关高等院校师生学习、研究使用。

图书在版编目(CIP)数据

钱塘江河口保护与治理研究 / 潘存鸿等著. — 北京:
中国水利水电出版社, 2017. 10
ISBN 978-7-5170-5981-3

I. ①钱… II. ①潘… III. ①钱塘江—河口治理—研究 IV. ①TV856

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第258225号

审图号: 浙 S (2017) 208 号

书 名	钱塘江河口保护与治理研究 QIANTANG JIANG HEKOU BAOHU YU ZHILI YANJIU
作 者	浙江省水利河口研究院 (浙江省海洋规划设计研究院) 潘存鸿 韩曾萃 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京市密东印刷有限公司
规 格	210mm×285mm 16 开本 26.75 印张 810 千字
版 次	2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷
定 价	186.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《钱塘江河口保护与治理研究》

编 撰 委 员 会

主 编 潘存鸿

副主编 韩曾萃

编 委 (以姓氏笔画为序)

尤爱菊 史英标 朱军政 黄世昌

曹 颖 曾 剑 韩曾萃 潘存鸿

《钱塘江河口保护与治理研究》

撰 写 人 员

章 节		负 责 人	撰 写 人 员	审 核（改）人 员
前言		潘存鸿	潘存鸿、曹颖	
第 1 章		潘存鸿	潘存鸿	韩曾萃 审改
第 2 章		韩曾萃	韩曾萃、曹颖、唐子文	潘存鸿、史英标 审改
第 3 章	3.1~3.4	潘存鸿	潘存鸿	黄世昌 审核
	3.5		曾剑	
	3.6		杨火其	
	3.7		潘存鸿	
第 4 章		黄世昌	黄世昌、刘旭	潘存鸿 审核
第 5 章		史英标	史英标	韩曾萃、尤爱菊 审核
第 6 章	6.1~6.6	朱军政	朱军政	韩曾萃、潘存鸿 审改
	6.7		韩曾萃	
	6.8		韩曾萃、李若华、曲璐	
	6.9		李若华	
	6.10		朱军政、韩曾萃	
第 7 章		尤爱菊	尤爱菊	韩曾萃 审核
第 8 章		韩曾萃	韩曾萃	史英标、潘存鸿 审改
统 稿			潘存鸿、曹颖	

序一

Foreword

钱塘江是浙江省的母亲河，是吴越文化的分野之地，钱塘江流域又是我国重要的文明发祥地之一。钱塘江尤以河口澎湃汹涌的涌潮而蜚声中外，强劲的潮流动力创造了一个迥异于一般三角洲河口的强涌潮三角江河口。壮观多姿的强涌潮在带来自然奇观的同时，也给居住在两岸的人民带来了深重的洪潮灾害，钱塘江河口治理是历朝历代关注的大事。

钱塘江河口独特的水沙条件和演变特性——强涌潮、强输沙、强游荡、强冲淤，使河口治理鲜有可供借鉴的先例，给河口防灾减灾和资源开发带来了极大的困难，为此，浙江省水利河口研究院前后几代水利同仁前赴后继，研究钱塘江河口水沙规律，提出了“减少进潮量、增大单宽潮量、稳定主槽”的水沙控导思想，构建了“全线缩窄，走中造弯”“治江结合围涂，围涂服从治江”“乘淤围涂，以围代坝”“抛坝促淤，回流淤积”等河口综合治理方案、实施原则与工程措施，创建了强潮河口治理的新模式，并成功实施了钱塘江河口的治理工程。从20世纪60年代至今，钱塘江杭州至澉浦约100km的江道已达到治理规划线，其治理效果、社会效益和环境保护均取得了举世瞩目的成就，被誉为“强潮河口治理的成功典范”。

欣读《钱塘江河口保护与治理研究》一书，深感治理理念的转变，从治理与开发到保护与治理，将保护放在治理前面，是社会的巨大进步，是思想的巨大进步，也是科学技术的巨大进步。本书作者聚集河口研究院精英，以数年之功，集聚年研究成果于此书。在50余年实测资料的基础上，结合数学模型和实体模型研究成果，系统总结了钱塘江河口河床演变规律，客观评估了治江缩窄对水沙输移的影响，以及河口治理的社会效益、经济效益和环境效益。特别是进入21世纪以来，随着海洋时代的来临，对钱塘江河口的防灾减灾提出了更高的要求，河口研究院即时开展了超标准风暴潮对钱塘江河口影响的研究；国家生态文明战略的实施也对河口治理中资源的保护提出了更多、更全面的要求，河口研究院顺应新形势，开展了涌潮、河口盐水入侵、河口水环境以及河口生态环境需水量等多项研究。

《钱塘江河口保护与治理研究》一书中水沙运动之复杂、实测资料之丰富、研究内容之新颖、研究方法之先进、研究成效之显著，充分展示了钱塘江河口保护与治理研究的新进展，在我国河口研究中独具特色，不少研究成果尚无先例，对钱塘江河口及其他潮汐河口的研究具有重要的推动作用，是一本值得深入阅读与思考的好书，我郑重向广大同行推荐该书。

中国工程院院士、中国水利水电科学研究院副院长、
国际泥沙研究培训中心副主任、秘书长

2016年11月8日

序二

Foreword

钱塘江是浙江的母亲河，其流域面积占浙江省面积近一半。在山水灵秀的浙江，钱塘江河口涌潮以其一往无前、汹涌澎湃的特质特立于世，如同淡墨山水画卷之上的一抹浓墨重彩呈现于世人眼前。在浙江从事水利科研管理工作 20 余年间，即使已经 10 余次看潮，每每仍感受到大自然不可抗拒的力量，也对钱塘江河口强涌潮、强输沙、强冲淤、强游荡的自然特性有着更为深刻的认识，而这种复杂的特性给钱塘江河口的治理和管理带来了重重困难，也给钱塘江科研工作者带来了巨大的挑战。早在 1957 年浙江省就成立了专门研究钱塘江河口的研究机构——钱塘江河口研究站（浙江省水利河口研究院前身）。60 年来，机构经历多次演变，但始终维持了一支稳定的钱塘江河口研究队伍，一直坚持开展钱塘江河口水动力、泥沙、水工程、水安全、水环境、水资源等领域的各项研究，为河口治理和资源保护开发提供了强有力的技术支撑，使钱塘江在保持了涌潮特色、基本维持河口特性不变的情况下，达成了河口减灾和资源利用的综合治理目标，改善了河口健康，使钱塘江河口治理成为世界上强潮河口治理的典范。为全面总结 21 世纪以来钱塘江河口研究的新进展，潘存鸿、韩曾萃等多年从事钱塘江河口研究的科研工作者，基于 60 余年的实测水文、地形资料，以最近 10 余年的科研成果为重点，系统地总结了钱塘江河口河床演变、涌潮模拟、超标准风暴潮、盐水入侵、河口水环境、河口生态环境需水、河口治理评估等方面的研究成果。本书付梓之际，恰逢浙江省水利河口研究院建院 60 周年，谨以此序致敬钱塘江河口治理的前辈，并与同在河口治理科研一线的工作者们共勉。



浙江省水利河口研究院院长

2016 年 11 月 1 日

钱塘江是浙江第一大河，钱塘江流域依托钱塘江创造了灿烂的古文明，而近现代钱塘江河口的治理也进一步促进了浙江的飞跃发展。

钱塘江近现代的系统研究，始于新中国成立后的 20 世纪 50 年代，基于钱塘江对浙江省的重要性，设置了当时国内唯一的河口研究机构——钱塘江河口研究站。60 余年来，钱塘江河口研究站积累了大量气象、水文、地形、地质勘测资料，多次组织编制河口综合规划或治理专项规划，使钱塘江河口的治理开发与保护逐步趋于科学而有序，成为国际强潮河口治理的典范。

在钱塘江河口治理与保护过程中，对钱塘江河口各方面的认识逐步加深。钱塘江的基础研究，历经几代水利人的呕心沥血，已有多部专著面世。其中，2003 年韩曾萃等编著的《钱塘江河口治理开发》全面阐述了 20 世纪钱塘江河口水沙特征和河床演变规律，论述了全线缩窄治理规划的提出、修编和实施过程，系统总结了应用于钱塘江河口的数值模拟和物理模拟技术，以及治江工程措施和经验，分析了新安江水库和大规模治江缩窄对河口潮汐水文与河床演变的影响等。

20 世纪后期以来，钱塘江河口的治理从原来的防灾减灾和滩涂资源开发转变为综合治理，在治理中综合考虑了岸线资源、港航资源、淡水资源、涌潮资源、湿地资源等各种河口资源的开发利用。进入 21 世纪，钱塘江河口从治理开发为主、保护为辅，逐渐过渡到治理开发与保护并重，再到保护为主、治理开发为辅的新阶段。此外，随着实测资料的积累，河口保护与治理研究的推进，以及相关学科的技术进步，钱塘江河口保护和治理取得了多方面的新成就，本书以最近 10 余年的科研成果为重点，汇集了国家自然科学基金（10772163、51379190）、水利部公益性行业科研专项（200801072、201001072、201101056）、水利部计划项目（2008-458）、浙江省重点科技创新团队（2010R50035）等项目的研究成果，系统地总结了钱塘江河口河床演变、涌潮模拟、超标准风暴潮、盐水入侵、河口水环境、河口生态环境需水、河口治理评估等方面的研究成果。但本书并未包括钱塘江河口保护和治理的全部内容，特别是涉及工程方面的新进展。

本书是众多科技人员研究成果的结晶，感谢参加、关心、支持、讨论、咨询、审查本书相关内容的所有人员，正是你们的智慧、经验、支持和实践，才使得钱塘江河口保护和治理取得如此辉煌的成绩，为本书的撰写奠定了基础。

作者

2017 年 5 月

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 钱塘江河口治理进展	3
1.3 钱塘江河口保护进展	8
1.4 主要研究内容	12
参考文献	14
第 2 章 钱塘江河口河床演变	15
2.1 钱塘江河口河床演变概述	15
2.2 长历时自然及治理过程的河床演变特性	25
2.3 中等历时（年内）河床冲淤特性及规律	42
2.4 河口河相关系的建立、验证及应用	48
2.5 典型河段河床演变分析	65
2.6 河流近口段河床演变及其受人类活动的影响	77
2.7 口外海滨段（杭州湾）河床演变及动力条件	94
2.8 本章小结	126
参考文献	127
第 3 章 钱塘江河口涌潮模拟技术研究	130
3.1 概述	130
3.2 一维涌潮数值模拟	133
3.3 二维涌潮数值模拟	138
3.4 三维涌潮数值模拟	166
3.5 实体模型涌潮模拟	171
3.6 水槽模型涌潮模拟	182
3.7 本章小结	187
参考文献	187
第 4 章 钱塘江河口超标准风暴潮研究	191
4.1 概述	191
4.2 超标准风暴潮影响下的沿江潮位	193
4.3 超标准风暴潮影响下的沿江波浪	204
4.4 超标准风暴潮位和波浪的重现期	208
4.5 超标准风暴潮作用下的沿江越浪及海塘稳定性	210
4.6 超标准风暴潮淹没计算和灾害损失	214

4.7	风暴潮实时预报模型	220
4.8	本章小结	223
	参考文献	224
第5章 钱塘江河口盐水入侵研究		227
5.1	概述	227
5.2	钱塘江河口盐水入侵的影响因素	230
5.3	钱塘江河口盐度时空变化特征	240
5.4	钱塘江河口盐度预报数学模型	251
5.5	钱塘江河口顶潮抗咸实践及其检验	270
5.6	本章小结	278
	参考文献	278
第6章 钱塘江河口水环境研究		281
6.1	概述	281
6.2	钱塘江河口水质演变规律	282
6.3	钱塘江河口入河污染负荷估算	294
6.4	钱塘江河口水流水质数学模型应用研究	297
6.5	钱塘江河口水体交换能力与水质影响因素	304
6.6	钱塘江河口纳污总量计算	309
6.7	排污口近区浓度的观测与模拟	324
6.8	富春江低氧河段水质监测、分析与模拟	330
6.9	钱塘江河口突发水污染事故的预测模拟	338
6.10	本章小结	343
	参考文献	344
第7章 钱塘江河口生态环境需水量研究		346
7.1	国内外研究进展	346
7.2	钱塘江河口生态环境需水量内涵分析	348
7.3	钱塘江河口输沙需水	353
7.4	钱塘江河口御咸需水	356
7.5	钱塘江河口环境需水	359
7.6	钱塘江河口最小生态需水	363
7.7	钱塘江河口生态环境需水耦合与保障	365
7.8	本章小结	368
	参考文献	369
第8章 钱塘江河口治理成效与经济评估		372
8.1	钱塘江河口治理的必要性	372
8.2	钱塘江河口治理方案实施及海塘建设和维护	378
8.3	治理开发效果的检验	387
8.4	治江缩窄及海塘建设的经济效益	403
8.5	本章小结	414
	参考文献	415

第1章

绪论

1.1 概述

1.1.1 钱塘江河口概况

钱塘江发源于安徽省休宁县六股尖,流域面积 55558km^2 ,全长 668km ,是浙江省的母亲河。自富春江水电站大坝以下为感潮河段,即钱塘江河口,全长 291km ^①。根据各段水动力条件和河床演变特性的差异,将钱塘江河口分为三段。①富春江大坝至闻家堰为河流近口段(又称河流段),长 77km ,以径流作用为主,加之新安江水库的调蓄作用,河床基本稳定。②闻家堰至澉浦为河流河口段(又称过渡段),长 116km ,径流和潮流共同作用,河床冲淤剧烈,是本研究的重点。河口段的上、中段(闻家堰至尖山)洪冲潮淤,河口段的下段(尖山至澉浦)洪淤潮冲。“洪水取直,枯水走弯”的规律导致尖山河段随连续丰水年、枯水年的交替造就顺直与弯曲河势的频繁变化,使其具有典型的游荡特征,主槽摆动剧烈频繁。③澉浦至南汇嘴为口外海滨段(又称潮流段),即杭州湾,长 98km ,以潮流作用为主,流路基本稳定,河床相对稳定。北部从澉浦至金山沿岸为涨潮冲刷槽,习称杭州湾北岸深槽,南部为不断向北淤涨的庵东滩地,中部相对较为平坦。

钱塘江富春江电站大坝处多年平均径流总量为 301亿 m^3 。钱塘江河口是世界著名的强潮河口,潮汐为非正规半日潮,从杭州湾口向湾顶澉浦潮差沿程递增,再向上游潮差沿程递减,澉浦多年平均潮差 5.66m ,最大潮差 9.0m ,居我国潮汐河口之首。钱塘江陆域来沙少,泥沙主要来自海域,因山潮水比值小而被强劲的涨潮流带至河口内,形成乍浦至闻堰长达 130余 km 的纵向沙坎。杭州湾喇叭形平面形态使潮波上溯过程中能量集聚,乍浦以上纵向沙坎的存在,使水深沿程向上游逐渐减小,潮波浅水效应逐渐增强,从而在澉浦上游的高阳山附近产生涌潮,目前是世界上两个涌潮最为壮观的河口之一(另一个为巴西的亚马逊河),分别在尖山及下游、盐官和老盐仓形成交叉潮、一线潮和回头潮(韩曾萃等,2003)。

钱塘江河口段的自然特性可概括为(潘存鸿等,2013b):宽浅的河床,年际年内变幅较大的径流,强劲的潮动力,海域来沙丰富和易冲易淤的泥沙条件,河床冲淤变化剧烈,主槽摆动频繁,是一个典型的强潮游荡性河口。

1.1.2 钱塘江河口保护治理目标和开发指导思想

钱塘江河口段强涌潮、强输沙、强冲淤、强游荡的自然特性给防灾减灾、河口资源开发利用和保护带来了极为不利的影响(潘存鸿等,2011;2013b),主要包括:

(1) 对防洪、御潮和排涝的影响。历史上,钱塘江河口发生近千次洪、涝、潮灾。从唐武德六年

^① 因受治江缩窄和杭州湾口北岸围垦等人类活动的影响以及量测技术的进步,根据最新地形图的量测结果(按江道中心线计),钱塘江河口全长 291km ,比原来的 282km 增加了 9km (韩曾萃等,2003),其中:近口段从原来的 75km 增长到 77km ,河口段从原来的 122km 缩短到 116km ,口外海滨段从原来的 85km 增加到 98km 。



(公元 623 年)直到新中国成立前夕的 1326 年间,仅有史可查的潮灾年就有 183 年,平均 7.2 年中有 1 年。钱塘江河口潮灾,或由风暴助潮肆虐,堤塘漫溃,或因急溜逼岸,堤塘坍毁。由于组成岸滩的粉砂不耐冲刷,其崩势之猛、坍速之快、成灾之烈,远非其他河流的江岸坍蚀可比。海潮入侵以后,不仅淹溺成灾,而且咸潮所到之处,挟带泥沙,掩埋农田,淤塞河道,使内河水质变咸,贻害长久,不易消除。钱塘江河口段存在洪冲潮淤、冲淤幅度很大,主槽丰水走直、枯水弯曲等河床演变特点。当流域出现连续枯水年时,主槽极度弯曲,泄洪线路长,同时因泥沙大量淤积,河道过水断面小,对泄洪最为不利。另外,因主槽摆动频繁,每处堤防均可能成为主流的顶冲点,整个堤防需全面防御。因钱塘江河口河床宽浅,当主槽摆到一岸时,另一岸则发育大片滩地,滩面高程可能高于内河水位,严重影响两岸的排涝。

(2) 对河口资源开发利用和保护的影响。由于主槽摆动幅度大,摆动频繁,对取排水口、排涝闸和港口航道等岸线资源利用极为不利,常常出现排涝闸下因主槽摆动而被淤死,甚至在 1968 年出现著名观潮胜地盐官无涌潮的现象。此外,滩涂资源、受盐水入侵影响的淡水资源等开发利用也需要对钱塘江河口进行治理。

钱塘江河口潮强流急,历史上受工程技术水平所限,采用“以宽治猛”的指导思想,两岸堤距达 10~30km,远大于河道输水输沙所需要的宽度,河床又为易冲易淤的粉砂土,受径流丰枯的变化,主流在广阔的堤岸内任意摆动,造成主流摆动幅度大、摆动频繁,河床冲淤变幅大和潮汐特征值变幅大的特点,江道十分不稳定。

20 世纪 60 年代初,通过较系统的分析研究,认识到钱塘江河口由于外海来沙丰富,潮汐动力太强,山水、潮水比值小,口内发育庞大的沙坎。沙坎是海域来沙强潮河口的最主要特征,也是涌潮产生的最重要原因之一,而河床宽浅、涨落潮流路分歧是主槽游荡的原因。因此,从理论上论证了治江的指导思想是(韩曾萃等,1985;2003):减少进潮量,加大山水、潮水比值,缩窄江道,减少河床摆动。这是治江指导思想上的重大转变,即从“被动防守”转变为“主动治江”。后来经过多年的治江实践,对河性认识的加深,针对治江缩窄后阶段,治江指导思想调整为:缩窄江道,稳定主槽,增大单宽潮量(潘存鸿等,2011)。

根据上述治江指导思想以及两岸经济社会发展需求,围绕防洪、御潮、排涝、涌潮保护、滩涂资源开发、水资源利用、岸线资源利用、航道资源开发等众多的治理目标,比较研究了河口建闸、建潜坝和全线缩窄三大类方案。最后选定了既稳妥又灵活,既能满足治江又能获得土地的全线缩窄治理方案。在钱塘江河口最重要和最复杂的尖山河段治理研究中,经充分论证,多方案比较,提出并实施了钱塘江河口全线缩窄、尖山河段主槽走中、平面形态弯曲的治江缩窄方案(简称“全线缩窄,走中造弯”)。在治江过程中,提出并始终坚持“治江结合围涂,围涂服从治江”的原则。此后,根据多年治江实践,提出了“自上而下,分步实施”“乘淤围涂,以围代坝”“抛坝促淤,回流淤积”等治江措施。上述治江指导思想、治江原则和治江措施的提出,为治江指明了方向,大大加快了治江进程。经多次观测、修正逐步达到治理规划线,从而创建了海域来沙丰富、宽浅游荡型强潮河口的治理模式。通过 50 余年大规模治江缩窄,澉浦以上河口段达到了治理规划线,稳定了河势,改善了河口健康,取得了多项治理目标(潘存鸿等,2010):①提高了防洪潮标准,彻底解决了尖山河段南岸因南股槽临岸,潮水顶冲常年抢险的老大难问题,杜绝了滩槽摆动导致萧绍平原不能排涝的极端事件;②截至 2014 年末,钱塘江河口累计围涂 205 万亩(13.6 万 hm^2),其中澉浦以上河口段累计围涂 135 万亩(9.0 万 hm^2)、澉浦以下杭州湾 70 万亩(4.6 万 hm^2 ,上海市 5.4 万亩、浙江省 64.6 万亩),图 1.2.1 与图 1.2.2 为不同时期的钱塘江河口卫片,显示了治江进程;③涌潮和古海塘景观依然壮观;④为曹娥江大闸、嘉绍大桥等工程建设创造了自然条件。



图 1.2.1 2002 年 3 月钱塘江河口卫片



图 1.2.2 2015 年 10 月钱塘江河口卫片

1.2 钱塘江河口治理进展

由韩曾萃等（2003）撰写的专著《钱塘江河口治理开发》系统地总结分析了河口的形成与历史变迁、河口概貌、潮汐水文、泥沙输移、河床冲淤变化、治理规划与实施进程、整治建筑物的设计与施工、人

类活动对河口的影响，以及数值模拟和实体模型试验技术等。该书是认识自然和改造自然过程中的科学技术总结，但书中引用的资料止于 2002 年。2003 年以来，钱塘江河口治理又取得了一些重要的新进展。

1.2.1 治理规划修编

以 1985 年编制完成的《钱塘江尖山河段治导线初步研究》（韩曾萃等，1985）为标志，从 20 世纪 80 年代开始钱塘江河口的治理重点进入海宁八堡至澉浦的尖山河段，实施过程中又对尖山河段治理规划进行了修编，于 2001 年完成《钱塘江河口尖山河段整治规划》（韩曾萃等，2001）。由于贴近上虞、余姚岸线的南股槽水深流急，对实施尖山河段上虞和余姚岸段的整治规划线带来了很大的困难，同时也为减缓南股槽沿岸海塘的防潮压力，改变连年抢险的局面，浙江省水利河口研究院于 2005—2007 年进行了上虞和余姚岸段的规划线调整研究，编制完成了《钱塘江南股槽整治堤线调整专题研究》（卢祥兴等，2007），并将规划成果纳入到《钱塘江河口综合规划》（楼越平等，2007）。调整后的规划线在上虞和余姚岸段堤线适当外移（图 1.2.3），与 2001 年尖山河段整治规划线相比，上虞和余姚增加围涂面积 5.4 万亩，并充分利用上虞中沙，节约了工程投资。

为进一步保障河口两岸防洪御潮安全，合理开发河口资源，保护和改善生态环境，加强河口管理，浙江省钱塘江管理局组织编制了《钱塘江河口综合规划》（楼越平等，2007），规划编制单位为浙江省水利河口研究院，编制工作从 1999 年开始至 2007 年完成。规划范围为闻家堰至芦潮港与镇海外游山连线之间的浙江省水域和岸线，内容包括治导线确定、防潮、防洪、排涝、港航、环境等，规划涉及上、下游河口治理的关系，已有及新建工程的环境影响和土地围垦规模的大小等。

《钱塘江河口综合规划》的规划任务是：进一步加强江道治理，稳定河势，控制主槽摆动幅度和频次；进一步加强海塘建设，提高防洪御潮能力；合理配置河口水资源，加强水环境保护；在治江的同时为经济社会提供更多的土地资源；合理开发岸线资源，并改善航运条件；加强河口管理。

经过近 9 年的工作，《钱塘江河口综合规划》完成了 23 个专题报告，并吸纳了澉浦以上规划堤线成果（韩曾萃等，1985；韩曾萃等，2001；卢祥兴等，2007），提出了钱塘江河口全线缩窄方案及推荐的规划堤线，如图 1.2.3 所示。

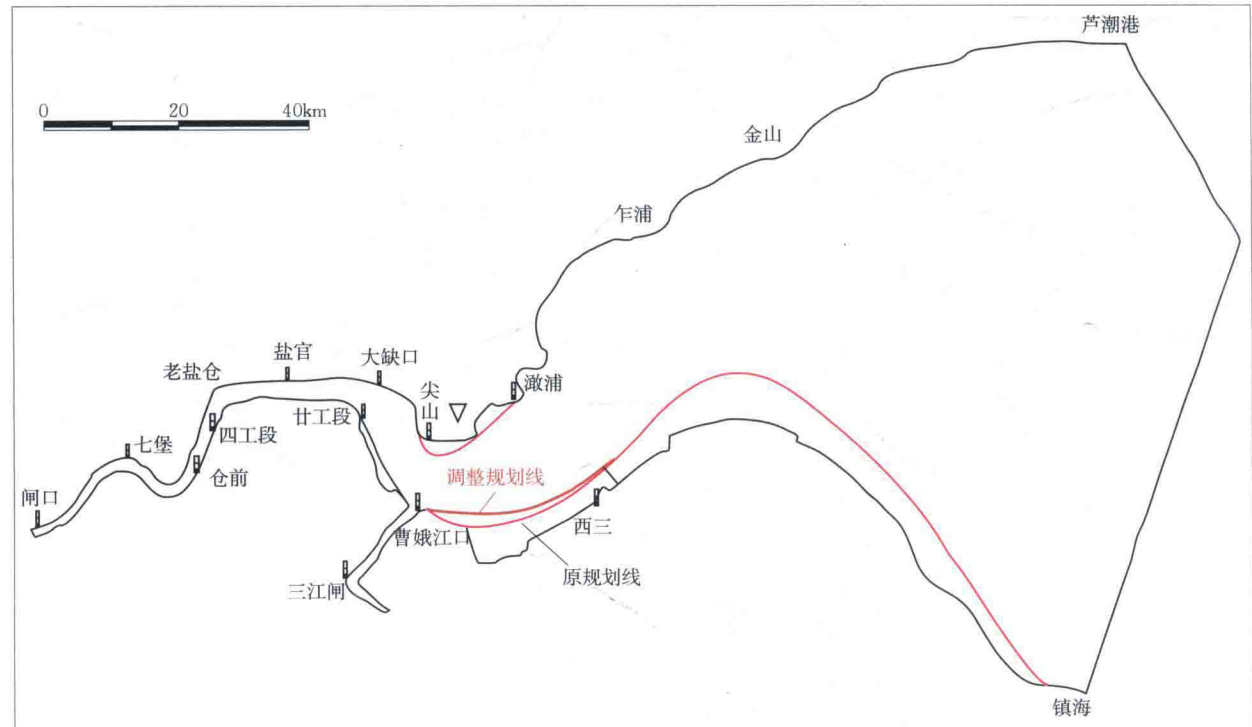


图 1.2.3 钱塘江河口规划方案布置图

1.2.2 尖山河段治理规划的实施

截至2002年年底,尖山河段治江围涂工程虽已基本成型,但沿岸所有市县(海宁、海盐、萧山、绍兴、上虞和余姚等)均存在未到规划线的岸段。

1. 海宁和海盐治江围涂工程

根据浙江省水利河口研究院的研究成果(潘存鸿等,1999;卢祥兴等,2000;熊绍隆等,2002),海宁市自1997年4月从上游抛筑顺坝促淤,至2003年完成I期治江围涂工程,共计围涂4块,即98丘、99丘、02丘和03丘(图1.2.4),合计围涂面积3.8万亩。2003年以后,利用尖山河段主槽南摆时机,实施II期治江围涂工程,先后围成04丘两块,合计围涂面积2.2万亩。至此,海宁岸段已全部达到规划线,共计围涂面积6.0万亩。海宁治江围涂工程实施后,促进了下游海盐县隐蔽区的淤积,海盐县先后围成05丘和07丘,合计围涂面积2.3万亩。

2. 萧山和绍兴治江围涂工程

南岸萧山和绍兴岸段主槽贴近岸线,水深流急,给围垦工程带来了极大的困难。绍兴县主动出击,为曹娥江大闸建设创造条件,于2003年围成靠近曹娥江的两块03丘,于2007年围成西片07丘,共计围垦面积1.2万亩。在此期间,上游萧山利用浙江省水利河口研究院的研究成果(曾剑等,2006),强行采取抛筑3条丁坝促淤,于2007年围垦面积1.9万亩。至此,钱塘江南岸曹娥江口西侧岸段已全部达到治理规划线。

3. 上虞治江围涂工程

上虞岸段南股槽发育,深水临岸,为整治南股槽并实施上虞岸段的治江围垦工程,根据浙江省水利河口研究院的研究成果(韩海骞等,2003),宜采用“上堵”方案整治南股槽。2007年4月堵截南股槽上口后,同时,沿中沙的北边缘自上(西)而下(东)抛石保护中沙。因上口堵截,南股槽随即萎缩,出现大幅度的淤积,上虞市视滩涂淤涨情况由西向东逐步分片实施围垦,2007年合拢上虞治江围涂一期南丘(1.05万亩),2009年春合拢上虞治江围涂一期北丘(1.48万亩),以后又相继围成11丘(1.7万亩)和12丘(1.6万亩)。至2012年底,上虞仅留一个缺口还未封闭。

4. 余姚治江围涂工程

余姚西段受南股槽涨潮流顶冲,东段受西三潮沟涨潮流顶冲,动力强,近岸塘脚最低高程达到-15m,抛坝促淤难度大,而位于中段的陶家路闸两侧动力较弱,滩涂较高,又相对稳定。因此,在上虞段南股槽治理成功减缓了南股槽险情后,2002年余姚海塘除险治江围涂于中段起步(一期工程;杨火其等,2002),抛坝促淤围涂1.95万亩。在此期间,西三潮沟以东慈溪开展了四灶浦以西围涂,西三潮沟受两侧围涂扼制而逐渐萎缩,余姚继续向东实施了二期促淤围涂工程(2.67万亩)。

2007年,上虞堵截南股槽上口并对中沙采取临时保护工程后,余姚西段床面明显淤高,为余姚市实施海塘除险治江围涂四期工程(位于上虞、余姚交界处横塘直堤至陶家路江东丁坝之间)创造了条件,促淤围涂面积5.38万亩,如图1.2.5所示。研究结果表明,鉴于余姚岸段新、老岸线相距较远,抛坝促淤宜采用丁坝外侧接上挑或下行顺坝的组合方案。因此,余姚市一期、二期、四期治江围涂工程均采用由顺坝和丁坝组成的“格坝”进行促淤,实践表明,促淤效果明显。

由于水深流急,丁坝、顺坝坝头冲刷严重,尤其是丁坝头部冲刷坑底高程达-10.0~-18.0m,比原床面冲深5~10m以上,最大的断面石方量可达到400m³以上。2006年经深入调研,利用长江深水航道整治工程的设备,对抛坝前床面先采取软体排护底,取得了满意的效果,这又是一项新技术在钱塘江河口治理中的应用。截至2013年余姚岸段围成与上虞交界的两个区块,至2014年底仅留一个缺口还未封闭,至此余姚岸段全部达到规划线。

截至2014年底,钱塘江河口激浦以上治江缩窄进展如图1.2.4所示,钱塘江河口段激浦—西三断面以上除上虞岸段还有近2km岸线未封闭和余姚留有一个缺口外,其余均已达到治理规划线。同时,杭州湾南岸慈溪和镇海的围涂工程也有了很大的进展。



图1.2.4 钱塘江河口治江缩窄进展图

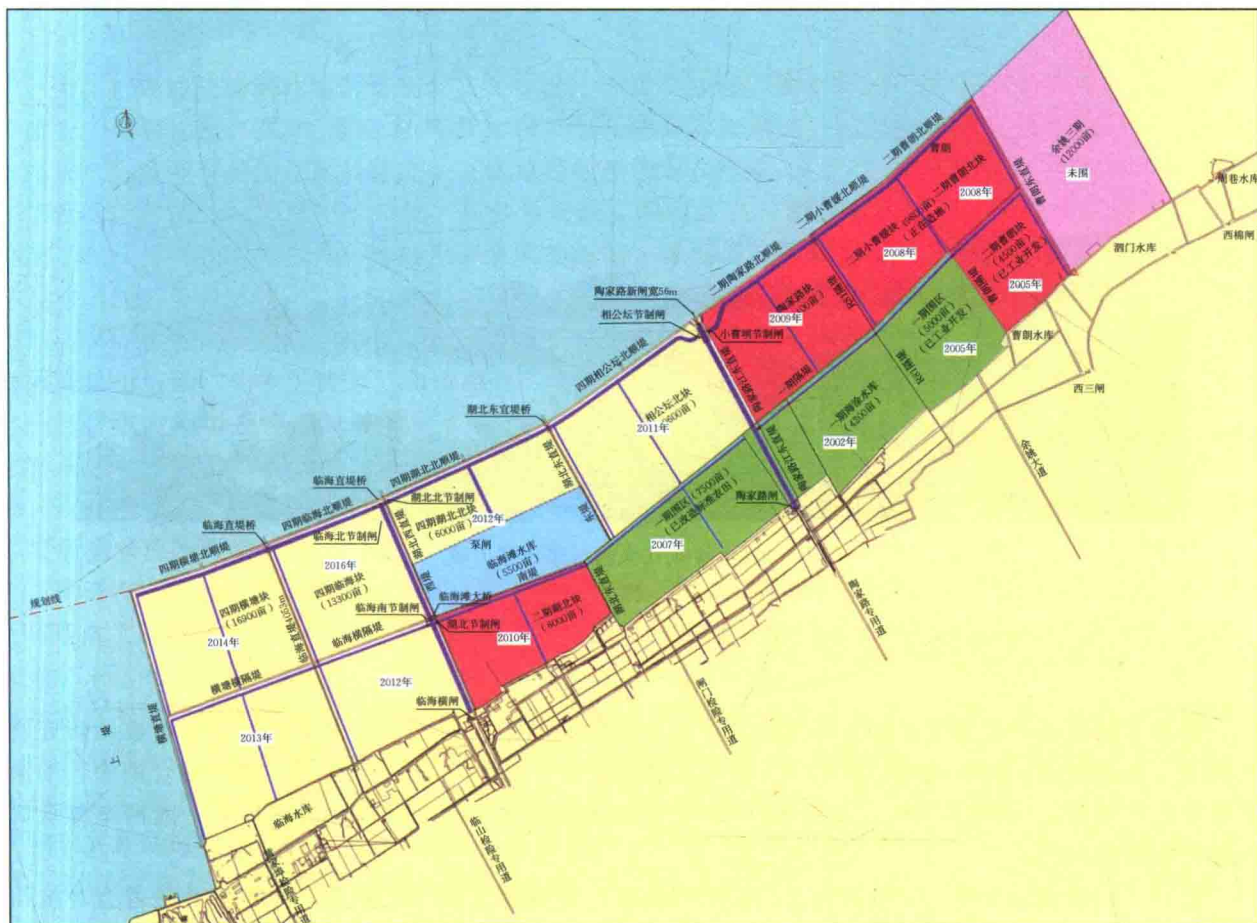


图 1.2.5 余姚岸段促淤围涂工程总平面布置图

1.2.3 曹娥江大闸建设

曹娥江大坝是一项综合利用的枢纽工程,其作用是以防潮(洪)、治涝为主,兼顾水资源开发利用、水环境保护和航运等综合功能,是《钱塘江河口尖山河段整治规划》中的关键性工程,也是浙东引水工程中的配水枢纽。大坝建成后可阻挡钱塘江河口风暴潮入侵,两岸防洪潮标准从50~100年一遇提高到100年一遇以上;萧绍平原的排涝标准达到20年一遇;闸上河道型水库多年平均可增加利用水量6.9亿 m^3 ,使萧绍平原和姚江平原连为一体,有利于向宁波、舟山等地引水;改善航运条件,杭甬运河曹娥江河段500t级通航保证率从建闸前的50%提高到90%以上;改善两岸平原河网水环境,提高土地利用价值。

曹娥江大坝枢纽工程是国家批准实施的重大水利项目,是国内也是亚洲最大的河口第一大闸,为 I 等大(1)型水闸工程,共有 28 孔,每孔宽度 20m,净宽 560m。正常蓄水位下库容为 1.46 亿 m^3 ,水闸最大泄洪量 $12850 \text{m}^3/\text{s}$ 。前期工作开始于 2001 年底,2003 年 10 月 1 日大坝施工围堰工程动工,2005 年 12 月大坝枢纽主体工程开工,2008 年 12 月 18 日大坝蓄水试运行(吕益民,2011;图 1.2.6)。至 2015 年底,大坝已安全运行 7 年有余。曹娥江大坝建成运行,标志着尖山河段的治理已达到了预期目标。