



象山港 营养盐和泥沙输运

XIANGSHANGANG 吕华庆 主编
YINGYANGYAN HE NISHA SHUYUN

 海洋出版社

象山港营养盐和泥沙输运

吕华庆 主编

海洋出版社

2010 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

象山港营养盐和泥沙输运 / 吕华庆编著. —北京:海洋出版社,
2009. 11

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7358 - 8

I. ①象… II. ①吕… III. ①营养盐 - 输运 - 象山县
②泥沙 - 输运 - 象山县 IV. ①P734.4 ②TV14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 205745 号

责任编辑:王 溪 江 波

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月北京第 1 次印刷

开本:787mm × 1092mm 1/16 印张:9.25

字数:165.7 千字 定价:32.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《象山港营养盐和泥沙输运》

编委会

主 编：吕华庆

编 委：石钢德 常抗美 周鸿权 尹维翰
迟万清 蔡惠文 翟 滨 张丽旭

前 言

象山港流域由象山港狭湾(后文中在不引起误解的情况下,简称象山港)、牛鼻山水道和佛渡水道三大部分组成,流域面积 $1\,455\text{ km}^2$ 。从卫星遥感地图数据可知,象山港狭湾地处 $29^\circ 23' \sim 29^\circ 49' \text{N}$, $121^\circ 25' \sim 122^\circ 00' \text{E}$ 之间,从 $122^\circ 00' \text{E}$ 向西计算(M_map GSHHS 数据库, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/data/gshhs/>),它是一个纵长约为 62.8 km 、面积 563 km^2 的半封闭海湾,其中水域面积 391.8 km^2 ,滩涂面积 171.2 km^2 ,平均水深 10 m ,港口宽度 9.5 km 。坐落在港口的六横岛把象山港狭湾以外的区域分成了东南侧的牛鼻山水道和西北侧的佛渡水道。

象山港水产养殖条件良好,是浙江省最大的水产增养殖基地。20 余年来,港内工农业、养殖业发展迅猛。然而,由于缺乏科学管理,工农业污水以及养殖业产生的污染物大量滞留港内,导致整个港的水质处于严重的富营养化状态,赤潮频发。本底表层沉积物中氮、磷含量较高,已对底栖生物产生生态毒性。水产养殖是致使港内氮、磷元素超标的主要原因,也是控制营养盐在空间和时间上变化的主要因素。

象山港不仅是重要的水产增养殖基地,而且也是周边地区的通航渠道。因此,象山港的水动力问题、环境保护问题已引起了政府部门和海洋从业者们的广泛重视。本书仅就象山港狭湾内的输沙和营养盐环流问题展开讨论。由于该两问题均与水动力密切相关,所以在编写过程中对港内的盐度分布、水体混合、对流-扩散型水交换模式、潮波响应和变形等问题作了充分的论述。

象山港的输沙与营养盐环流问题是极其复杂的,却令人感兴趣。20 世纪 80 年代以来,已有学者从物理海洋学、泥沙动力学、海洋环境学、渔

业资源学、水产养殖学等角度对它进行过专题研究。要全方位研究象山港,非一个人或一个课题组在短时间内所能完成,好在董礼先研究员等已完成了象山港物理海洋学方面的研究。他们所发表的7篇论文(见参考文献)可以作为其他研究的基础。为此,本书把这7篇论文作为水动力基本理论作了详尽的引用,并转献给读者。

本书受“卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放研究基金”(“象山港动力环境与营养盐循环研究”课题,编号 SOED0605)、“浙江省教育厅科研项目”(“象山港温盐等主要养殖要素时空变化的研究”,编号 No. 20061134)和“浙江海洋学院出版基金”的资助,资料取自多人多个课程的研究成果。其中,第一、第八、第九章直接取自吕华庆、石钢德的调查和研究成果;第二至第五章的主要内容摘自董礼先研究员等的7篇重要论文;第六章的主要内容为周鸿权、李伯根、迟万清的论文;第七章的主要内容摘自尹维翰的论文;在第八章中,引用了张丽旭的部分数据;第十章中,引用了翟滨的部分数据。全书由吕华庆统稿。在内容安排上,第一章为水文环境概述,第二至第五章为水动力研究,第六章为输沙研究,第七至第九章为营养盐环流研究,第十章为对若干问题的思考。

本书在撰写过程中引用论文 100 余篇,数量较大。由于时间仓促,来不及逐一向有关作者联系,我们在此向为象山港研究做出贡献的所有专家致谢。

由于时间仓促,水平有限,不当之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 次

第一章 自然环境	(1)
第一节 地理和环境状况	(1)
第二节 气象特征	(3)
第三节 盐度平面分布	(3)
第四节 潮流	(4)
第五节 浙闽沿岸水	(4)
第六节 象山港河口	(8)
第二章 盐度分布和余环流	(11)
第三章 混合分析	(18)
第四章 对流 - 扩散型水交换模式	(22)
第一节 数值模型的控制方程	(22)
第二节 模式的应用	(24)
第三节 模拟结果	(25)
第四节 讨论	(27)
第五章 潮波响应和变形	(29)
第一节 潮波基本特征与变形	(31)
第二节 潮不对称和潮波传播中的非线性效应	(33)
第三节 底摩擦和 M_2 潮能的耗散	(34)
第四节 观测结论	(37)
第五节 潮波数值研究	(38)
第六节 潮滩位置和平流效应对 M_4 分潮的作用	(41)
第六章 泥沙输运与分布	(46)
第一节 潮汐潮流基本特性	(49)
第二节 泥沙基本特征	(50)

第三节 航道冲淤变化 (51)
 第四节 泥沙输运模型概述 (56)
 第五节 象山港泥沙输运的 POM 模型..... (59)
 第六节 重金属分布 (70)
 第七章 营养元素 (76)
 第一节 海洋中营养元素的地球化学特征 (77)
 第二节 象山港狭湾内营养元素的生物地球化学循环 (81)
 第三节 象山港狭湾内营养元素的来源 (82)
 第四节 水体时空变化的影响因素 (84)
 第五节 象山港狭湾中各形态营养元素的关系和时空分布 (85)
 第八章 营养盐历年调查数据分析 (88)
 第一节 2006 ~ 2007 年调查数据 (88)
 第二节 2002 ~ 2005 年象山港赤潮监控区营养盐分布 (104)
 第三节 1992 年象山港温度、盐度和营养盐的月际变化 (108)
 第九章 象山港氮、磷营养盐输运理论和硅酸盐分布规律 (111)
 第一节 现场调查数据..... (112)
 第二节 调查结果..... (113)
 第三节 营养盐分布规律..... (116)
 第四节 象山港营养盐环流模式..... (120)
 第五节 硅酸盐分布规律..... (121)
 第十章 对象山港若干问题的思考..... (122)
 第一节 养殖容量..... (122)
 第二节 养殖海域水体和沉积物中营养元素的分布特征及其控制过程 ... (127)
 第三节 冲淤..... (130)
 第四节 生态环境保护与修复技术..... (130)
 第五节 河口计算模式..... (132)
 参考文献..... (134)

第一章 自然环境

第一节 地理和环境状况

象山港流域由象山港狭湾、牛鼻山水道和佛渡水道 3 大部分组成,流域面积 1 455 km²。从最新卫星遥感地图数据知,象山港狭湾地处 29°23' ~ 29°49' N, 121°25' ~ 122°00' E(M_map GSHHS database)之间。从 122°00' E 向西计算(M_map GSHHS database),它是一个纵长约为 62.8 km、面积 563 km²的半封闭海湾,其中水域面积 391.8 km²,滩涂面积 171.2 km²,平均水深 10 m,港口宽度 9.5 km。坐落在港口的六横岛把象山港狭湾以外的区域分成了东南侧的牛鼻山水道和西北侧的佛渡水道(图 1-1)。牛鼻山水道是连接象山港与东海的重要通道。佛渡水道通过其外侧的条帚门、虾峙门等潮流通道又将象山港与东海相连。象山港流域主要通过这两个水道与外海进行水交换,其年均径流量为 1.3×10^9 (董礼先等,1999e),其中 60% 的流量集中在 6~9 月份(张丽旭等,2006)。平水期、丰水期和枯水期分

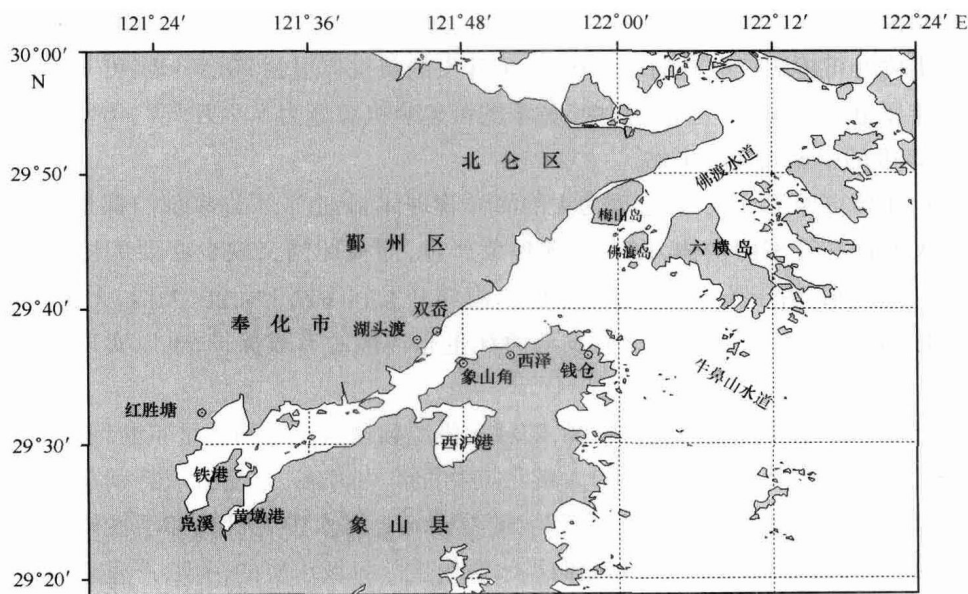


图 1-1 象山港示意图

别在4月、7月和11月左右(翟滨等,2007)。

象山港平面形态以象山角至双岙一线为界,分为内湾和外湾。内湾潮汐汉道众多,湾中有湾,地形相对复杂,局部区段岛屿相对集中,有浅滩、深槽,水深一般为10~20 m,最大水深超过55 m;外湾呈喇叭型,宽度从4.3 km向东渐增至18 km,水深变浅,口门区段水深大多为8~9 m,最浅点仅有7.8 m。从海底地形形态来看,象山港口门至顶部以浅滩与深槽交替分布为主要特征,浅滩一般出现在水域相对宽阔或多汉道交汇的地段,深槽一般发育于水域相对狭窄或岛屿密集的部位。

象山港海域内有大小岛屿59个,岸线总长400 km,两岸有山体掩护,环境隐蔽,避风泊位条件佳。区域内航道宽而稳定,水深一般能满足3.5万吨级海轮进出港。港域地理位置适中,处于我国南北海运的中点,江海联运的交汇处,口门外经佛渡水道及牛鼻山水道与国际航道相接,是理想的航运网络枢纽,宜作商港、工业港、渔港等不同性质的综合性的港口群体。

象山港是浙江省主要的海水增养殖基地,也是国家级“大鱼池”,适合多种鱼、虾、贝、藻等海洋生物栖息和生长繁殖,是发展海水增养殖,海水网箱养殖的良好场所(Lü et al., 2008)。近几年来,象山港海水增养殖业,特别是海水鱼类增养殖业相当发达,1999年全港区养殖面积16.1万亩^①,养殖产量6.3万t,其中海水网箱养殖大黄鱼、鲈鱼、黑鲷等面积246 000 m²,占用养殖水面5 570亩,产量4 680 t。港内湾西沪港,口小港大,颈门最窄处宽约1 km,总面积52 km²(7.8万亩),其中浅海18.7 km²(2.8万亩),水深5 m以上的海域5 km²(0.76万亩)、滩涂33.3 km²(5万亩)。

港内有可建潮汐电站的坝址6处,可开发的装机容量约30万kW,可开发的潮汐能年发电量为23.7亿度。其中,黄墩港可建装机容量为5.9万kW、年发电量达1.17亿度的中型潮汐能电站。

由于历史原因,以行业管理为主的海洋管理体制,造成了许多部门都是海洋资源开发利用和管理的主体,多头管理现象严重,而彼此间又缺少必要的协调与沟通。长期以来,由于条块分割,各成体系,海洋开发利用处于无度、无偿、无序状态,直接影响着海洋资源整体优化开发与海洋生态环境的有效保护,难以实现海洋经济的可持续发展。

随着沿海地区经济的高速发展,陆域污染源数量与污染物总量不断增加,再加上农业污染与生活污水所携带的大量污染物质汇入海域,至使海域特别是近岸海域和部分港湾污染严重,海域生态环境遭受破坏。海水中无机氮和活性磷酸盐普遍超标严重,海域水质以四类和超四类水质为主。海域水质的污染,严重影响了海

^① 1亩=1/15公顷。

水养殖业的发展与渔业资源的再生能力,再加上近年来捕捞强度的持续增加,更加速了传统鱼类资源的破坏,使近海渔业资源急剧衰退。

象山港海域是风暴潮、巨浪、赤潮等海洋灾害最为频发的区域之一。其中风暴潮和赤潮对该区域的经济的发展造成了严重影响。但是,对海洋灾害的抗御设施、减灾能力较为落后,因此,区域海洋灾害的抗御能力亟待提高。

第二节 气象特征

象山地区降水丰沛,多年平均年降水量为 1 415.7 ~ 1 539.1 mm。降水量的年际变化较大,丰水年可以达 2 100 mm,枯水年只有 700 mm,最多年降水量是最少年降水量的 3 倍左右;降水的季节变化大,全年的降水主要集中在 3 ~ 9 月,占年降水量的 70% ~ 80% 左右。表 1 - 1 是根据鹰龙山和强蛟站 1994 年实测资料统计结果。可以看出,由于 1 ~ 7 月份不是同步观测资料,所以两站年最大降水量出现时间不一致,鹰龙山年最大降水量出现在 4 月份,为 268 mm;强蛟 6 月份是梅雨季节,年最大降水量为 413.5 mm。年最小降水量出现时间一致,都在 11 月份,量值相当约 20 mm 左右。年降水天数约 150 日。

表 1 - 1 象山港地区降水量统计 mm

地方	月份												总量
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
鹰龙山	67	34.5	156.2	268	195.7	164.3	127.6	115.4	446	113	19.1	149.7	1 455.1
强蛟	49	102	59.8	105.9	52.6	413.5	27.8	213.7	66.4	207.1	21.4	192.8	1 512.1

第三节 盐度平面分布

象山港春季盐度最高,秋季盐度最低。这种变化规律,与浙江沿岸流的活动规律有关。秋季浙江沿岸多刮北风和西北风,长江冲淡水沿着浙江岸线南移,浙江省沿岸盐度降低。冬季是枯水季节,浙江沿岸流稍弱,所以冬季盐度比秋季略高一点。春季开始刮东南风,浙江沿岸流北上,外海高盐度水进入浙江省沿岸,所以春季盐度最高。经过梅雨季节进入夏季,在雨水和径流量的影响下,象山港夏季的盐度比春季略低一些。

象山港盐度的平面分布规律为:无论哪个季节都是口门盐度最高,往港内盐度

逐渐降低,港顶最低。从盐度平面分布的等值线可以看到,多数时间港内盐度北岸较南岸高,这是由于象山港口门附近水平环流结构造成的。中层和底层等值线分布十分相似,说明混合均匀,盐差很小。盐度的垂向分布,表层最低,中层和底层略高一点。

第四节 潮流

象山港港湾深邃,且港内汊多,属串珠式港湾。潮波从几个水道进入,位相和振幅不一,故不同地点、不同深度受到的作用有强弱之分、先后之别。象山港内的潮流属非正规半日浅海潮流,潮流以往复运动为主要表现形式, M_2 分潮流的椭圆长轴走向基本上与等深线的走向保持一致,落潮流流速普遍大于涨潮流流速。最大潮流流速出现在口门,向港顶有逐渐减小的趋势。

第五节 浙闽沿岸水

象山港作为东海的一个港湾,其水体自然与浙闽沿岸水直接有关。

东海的西北部有宽广的大陆架,东南部是深为 2 719 m 的冲绳海槽,西侧有长江、钱塘江、闽江等巨量径流入海,东侧有强劲的黑潮经过,北部易受黄海的直接影响,西南部通过台湾海峡又可响应来自南海的作用,因而东海的水团分布和变化比较复杂。根据 $T-S$ 图,人们一般把东海的水团归结为三大水系,即沿岸水系、混合水系和黑潮水系(吕华庆,2006)。

东海表层有关的水团一般有黄海表层水团、黄-东海混合水团、东海表层水团(含台湾暖流水)、东海黑潮变性水团、东海黑潮表层水团、浙闽沿岸水(主要为长江冲淡水)等 6 个。其中冬季的东海黑潮变性水团(EK),其地理位置介于东海表层水团和东海黑潮表层水团之间,三者具有明显的温、盐特征。但到了夏季,该水团的上层完全变性而融入东海表层水团,下层则为黑潮次表层水。综合历史文献,得各水团温盐特征和分布位置如表 1-2、图 1-2 所示。

表 1-2 东海表层各水团的温盐特征指标

水团名称及符号	水温($\theta/^{\circ}\text{C}$)		盐度 S	
	冬 季	夏 季	冬 季	夏 季
黄海表层水团(H)	2~9	22~27	31.5~33.0	30.0~31.5
黄-东海混合水团(HE)	9~14	27~28	32.0~34.0	32.0~33.0

续表

水团名称及符号	水温($\theta/^{\circ}\text{C}$)		盐度 S	
	冬季	夏季	冬季	夏季
东海表层水团(E)	13 ~ 17	27 ~ 29	33.8 ~ 34.4	33.5 ~ 34.2
台湾暖流水(T)	17.9 ~ 19.6	28 ~ 29(上层)	31.0 ~ 34.0	33.1 ~ 34.2(上层)
	(中心线)	24(下层)		34.4(下层)
东海黑潮变性水团(EK)	15 ~ 20.2	不存在	34.3 ~ 34.5	不存在
东海黑潮表层水团(KS)	20 ~ 25	28 ~ 30	34.4 ~ 34.8	34.2 ~ 34.5
长江冲淡水(C)	4 ~ 6	27 ~ 28	< 31	< 31

据吕华庆(2006).

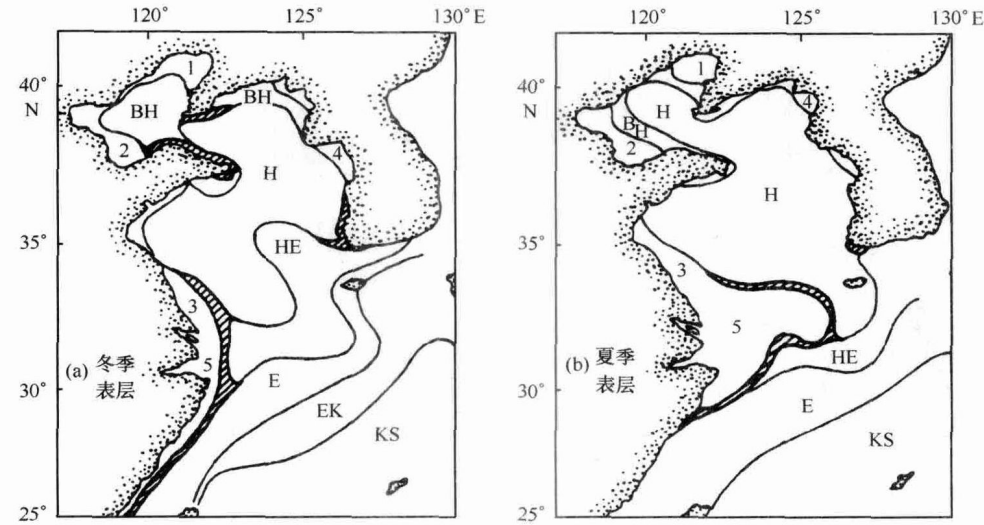


图 1-2 渤海、黄海、东海的水团(李凤岐、苏育嵩,2000)

1. 辽东湾沿岸水;2. 渤南(鲁北)沿岸水;3. 苏北沿岸水;
4. 朝鲜西岸沿岸水;5. 长江冲淡水及江浙沿岸水;
BH 为渤海混合水团;H 为黄海表层水团;HE 为黄东海混合水团;
E 为东海表层水团;EK 为东海黑潮变性水团;KS 为东海黑潮表层水团

一、表层沿岸水系

与沿岸水系有关的水团主要有以长江冲淡水为主的浙闽沿岸水,长江冲淡水对东海区水文特征的影响较大。根据《渤海、黄海、东海海洋图集》(图 1-3、图 1-4 所示)知,夏季该水团在长江口外海域扩展的范围很大,向北伸展已入黄海西南

部,与黄海沿岸水连成一片,向东极度扩张可达 126°E 以东,某些年份甚至可影响到济洲岛附近海域。由于长江汛期水量充沛,口门东北 200 km 外表层有时盐度也可降至 25.0 以下。在铅直方向上该水团的厚度不大,其原因在于冲淡水盐度小,夏季水温高,密度甚小,故只能漂浮在近海表面,且越远离口门越薄,甚至不足 10 m。夏季台湾暖流和偏南风对冲淡水的偏北向扩展起着比较明显的作用;而黄海气旋式环流对冲淡水的转向也起着十分重要的作用,因为它有阻碍冲淡水沿苏北沿岸北上和诱导冲淡水向东北方向运动的作用。

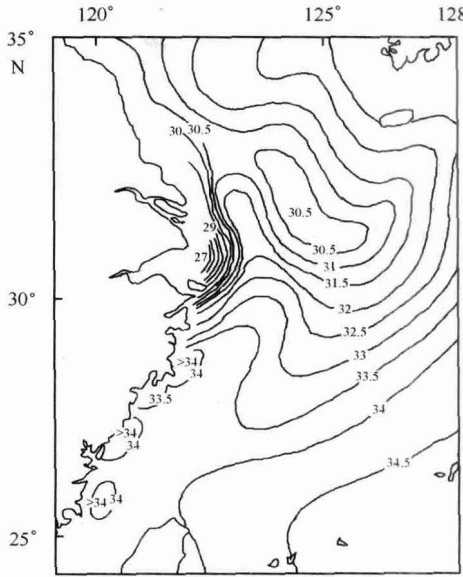


图 1-3 东海 1907 年至 1986 年的 7 月
10 m 层平均盐度分布(吕华庆,2006)

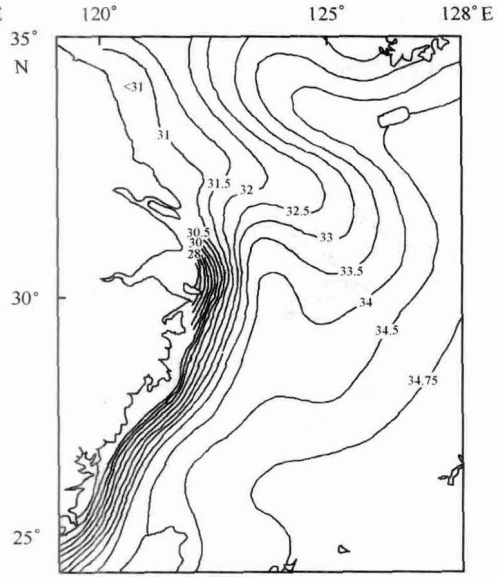


图 1-4 东海 1907 年至 1986 年的 2 月
10 m 层平均盐度分布(吕华庆,2006)

冬季该水团势力大减,长江口以东 100 km 外盐度可升至 30.0 以上,因受偏北风控制和黑潮入侵的影响,只能在沿岸一狭带内向南扩展,北风越大,冲淡水沿岸向南扩展的范围就越大,同时由于黑潮表层水的入侵,该水团被压缩在沿岸更窄的范围内。冲淡水与浙闽沿岸水汇合,其影响可到达台湾海峡南部。

冬季沿岸水系影响浙闽沿岸,沿岸流的流幅可达 40 ~ 50 km。

在夏季,由于偏南风的作用,沿岸水系与台湾暖流一样,一致流向东北;长江冲淡水朝济州岛方向扩展,冲淡水的外侧部分似在东海高密水的作用下朝东南方向扩展。

二、表层混合水系

东海表层混合水系的主要水团有黄海表层水团(H)、黄-东海混合水团(HE)、东海表层水团(E)、台湾暖流水(T)和东海黑潮变性水团(EK)等5个。在混合水系中,冬季有东海高密水存在,核心位于舟山群岛以东的宽阔陆架上,在夏季东海高密水位于济州岛以南的跃层以下。

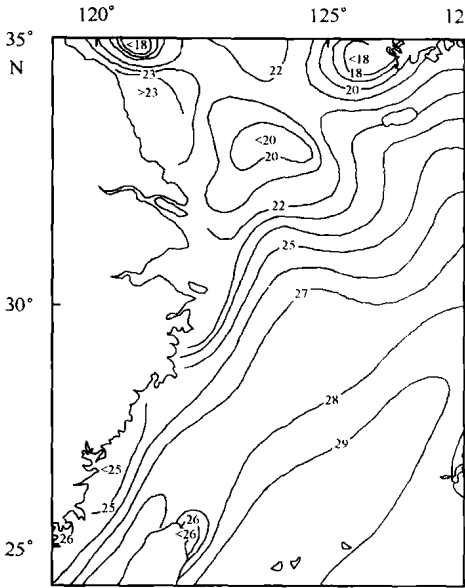


图 1-5 东海 1907~1986 年 10 m 层
7 月平均温度分布(℃) (吕华庆,2006)

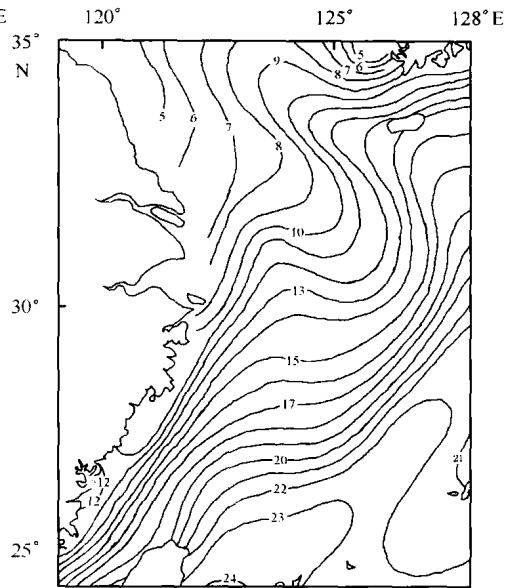


图 1-6 东海 1907~1986 年 10 m 层
2 月平均温度分布(℃) (吕华庆,2006)

三、表层黑潮水系(外海水系)

与该水系有关的水团是东海黑潮表层水团,这是覆盖于东海黑潮区最上层的水体集合,是由黑潮源区的表层水进入东海后形成的。东海黑潮表层水团终年分布于黑潮主轴之右至琉球群岛的广阔海域,四季及各月边界特别是西、北边界略有不同,但变化不太大,最大范围也不超过 100 km。该水团的厚度季节变化明显,冬季最厚时可深达 150 m,夏季只有 80 m 左右。在东海,该水团的水温、盐度、水色和透明度均居表层各水团之首,隆冬时水温不低于 20℃,盐度可达 34.5 以上,盛夏水温高达 29~30℃,盐度高于 34.0。

图 1-2 至图 1-6 表明,象山港水体温盐特征总体上取决于江浙沿岸水,但不同时期该水系中各水团对它的影响是不同的。其中长江冲淡水冬季南下,对象山

港影响较大,夏季相对较小。

第六节 象山港河口

海水和淡水在河口地区交汇时发生的混合和环流过程的类型,称之为河口类型。我国从 20 世纪 50 年代以来,曾对河口的混合和环流做了一系列的实测资料分析和模型试验研究,在理论上已取得显著进展,这对于河口的整治和疏浚有指导作用。

由于各个河口的动力条件和边界条件不同,海水和淡水的混合和环流的情况便互有差异。1952 年, H. M. Stommel 把海水和淡水的混合分成 3 种类型:弱混合、缓混合、强混合。1955 年 D. W. Pritchard 又以盐度平流扩散方程为基础,将河口的混合和环流概括成高度成层型、部分混合型和均匀混合型 3 种。

一、高度成层型

高度成层型相当于弱混合型,一般发生在径流对潮流的比值较大、宽度对深度的比值较小的河口。当表层的淡水以一定的速度下泄时,对于下层的海水将产生切应力,在界面形成内波。当切变足够强时,内波发生破裂,使底层的海水向上层掺混,但掺混量不多,故海水和淡水之间仍然存在明显的界面。由于海水在淡水下面呈楔形插入,此型又称海水楔型。在楔端的上游,整个水体的水流净值指向下游;在楔端以下的海水入侵区,自水面至海水和淡水的界面之间,水流净值指向下游,但在交界面以下,水流净值指向上游,从而形成一个微弱的垂向环流。美国密西西比河口的西南水道属于此种类型。

二、部分混合型

部分混合型相当于缓混合型。潮汐作用加强时,河口水体的底摩擦加大,产生了湍流,促使底层的海水和上层淡水混合,终于使高度成层型中的楔型界面破坏,而形成了盐度逐渐变化的水带。由于下层海水大量掺入上层,向海水流净值达到的量级可大于河水流量本身,形成了较强的垂向环流。设径流量为 Q ,则上层向海的水流净值可达 $10Q$ 以上,底层水流在上溯过程中逐渐减小,上层水流在下泄过程中不断增大。例如美国的詹姆斯 (James) 河口,上层的下泄流量为径流量的 20 倍,下层作为补偿的上溯水量为径流量的 19 倍。中国的长江口和珠江口的伶仃洋,也属于此种类型。

三、均匀混合型

均匀混合型相当于强混合型,多见于潮汐作用强和宽度对深度的比值较大的河口。由于潮汐作用增强等原因,底层因摩擦产生的湍流足以搅拌整个水体,故盐度的垂直梯度极小,而纵向梯度却很明显,且沿入海的方向增加。此类型有两种情况:①垂直均匀混合。这时,横向有盐度的差异。当河口相当开阔时,科里奥利力引起水流在水平方向上分离,向海的净流在各层都偏向右侧,而补偿的向陆净流则偏向左侧,形成了水平环流。英国的泰晤士河口,中国的钱塘江河口,都属于这种类型。②断面均匀混合。若河口处河道不宽,则湍流不仅能使盐水和淡水在垂直方向均匀混合,也能使其在侧向均匀混合。即盐度只存在纵向梯度,整个断面的水流净值指向海洋。美国的毕斯凯塔瓜(Piscategua)河口近似于此种类型。

上述各种混合和环流的类型,都明显受径流和潮流的比值所控制。此比值往往随时随地改变,使同一河口在不同时间里,或同一时间在河口的不同河段中,出现不同的类型,即可以从一种类型转化为另一种类型。以长江口为例,径流有洪季枯季的变化,潮流有大潮小潮的变化。枯季大潮时可为均匀混合型,洪季小潮时则可能出现高度成层型,但是全年中出现频率最多的却为部分混合型。河口几何形态对混合和环流的类型也有重要的影响。如径流保持不变时,河口宽度的增加,能改变径流和潮流的比值,这和减小径流量相似,都有增强混合的效果。

象山港港口部表、底层盐较差只有 0.23,可见其混合程度之高,属于均匀混合型。

要研究和预测河口溶解物和悬浮物的输运,首先必须了解河口中的运动。河口是一个淡水与咸水相互交汇的复杂水体,咸淡水团的混合及如潮位、径流量、风、波浪、科氏力等因素对河口环流具有重要的影响,加上地形和岸线的变化,这些因素都使得河口成为独特的系统。环流动力和咸淡水混合导致盐度分布不同和盐水入侵,这是河口的一个重要特征。早在 20 世纪 50 年代,Pritchard(1952,1956)在一系列经典的论文中给出了河口的盐度分布特征,强调河口纵向余环流。尽管底层向陆、表层向海的经典的环流普遍地在河口观测到,但除了纵向环流,由于河口的横向形状改变和弯曲可导致重要的横向环流发展。

河口最大混浊带。河口最大混浊带是指河口区含沙浓度稳定地高于上游和下游,在一定范围内有规律地输运的高浑浊水体,含沙量稳定地高于上下游河段几倍甚至更多,底部含沙量尤明显的区段。最大混浊带现象在世界很多河口都有发现,这是河口悬沙输移过程中的特有现象,通常发生于河水和海水经常交汇、存在向陆