

杭州湾悬浮泥沙多时相遥感分析*

陈夏法

(国家海洋局第二海洋研究所)

1987年12月16日收稿

摘 要

本文根据1984年的NOAA卫星多时相遥感资料,对杭州湾及其周围海区的表层悬浮泥沙浓度分布特征、扩散范围及季节性变化等作了分析与研究。并对悬浮泥沙影响建港工程及海区自然环境净化等问题进行了讨论。

一、研究目的与背景

杭州湾北邻长江口,背靠上海经济区,南有宁波、椒江、温州等开放港口,湾口濒临全国著名的舟山渔场;尤其是海上交通方便,北岸有金山咀至乍浦一线的港区分布,南岸有全国罕见的北仑深水港,便于形成外向型的经济。

杭州湾是中国中部沿海一大强潮河口湾,潮差大、潮流急、悬浮泥沙浓度高,为世界河口湾中所罕见。水体中的悬浮泥沙不仅影响水质和水的特性,而且容易造成淤积,对航道的疏浚和港口工程带来极大的危害。另外,悬浮泥沙是一种间接的污染源,它向海区扩散,势必会把其它污染物质也携入海区。因而悬浮泥沙实质上还是一种示踪剂,可用来检验陆上污染物质向海扩散的路径与可达范围。本文利用杭州湾现有的NOAA卫星多时相遥感悬浮泥沙浓度分布状况图,对杭州湾悬浮泥沙的来源、扩散范围、季节性变化等规律进行分析,查明悬浮泥沙对各海区自然环境影响的程度,为杭州湾两岸的港口开发和海区环境保护提供参考依据。

二、资料获取和处理

1983年11月至1984年11月,利用NOAA卫星对杭州湾进行了水体表层悬浮泥沙浓度遥感试验,获取了大量的AVHRR-CH₁通道的CCT资料和现场同步测量的光谱资料及悬浮泥沙浓度的实测值。

从NOAA卫星中获取的CCT资料,经过气象卫星中心地面站PPI-800系统的PSM 70图像处理机作线性增强和等密度分割处理之后,由计算机绘制成悬浮泥沙浓度相对等级分布图。由于相对等级分布图只反映悬浮泥沙浓度等级的高低,并不能表示各浓

* 本文承蒙张鸿期高级工程师指导和修改,特致谢意。

度等级的实际含沙量。所以本研究采用 R-S 标定法^[1] 算出了各相对等级浓度所对应的悬浮泥沙含量值，然后采用各取样站位上的实测值进行验证。经过实测数据验证后的悬浮泥沙浓度分布图（共 23 幅），可提供用户使用。其系统工作程序如图 1 所示。

三、分析与结果

本文从 23 幅杭州湾的悬浮泥沙浓度分布图中选出具有代表性的 5 幅（图 2—6）作为分析的依据。它们给出了杭州湾及其周围海区四个季节的按高、中、低三级浓度划分的悬浮泥沙浓度分布状况、扩散范围及动态变化规律。图中填以实线的区域为高浓度区（称之为浑水域），悬浮泥沙浓度 $S \geq 150 \text{ mg/l}$ ；填以虚线的区域为中浓度区（称之为扩散区）， $S = 50 \text{ mg/l}$ ；填以点划线的区域为低浓度区（称之为清水域）， $S \leq 10 \text{ mg/l}$ 。

为分析方便，将给出水文气象数据（表 1）和流经分布图（图 7）。

1. 时空分布

图 2 为 1984 年 1 月 6 日观测的杭州湾海域水体表层悬浮泥沙浓度分布资料，代表冬季杭州湾的悬浮泥沙浓度分布特征，其高浓度区分布在杭州湾内。冬季为枯水期，长江入海泥沙量少，长江口区的悬浮泥沙浓度基本上为 100—130 mg/l，钱塘江向杭州湾输入的泥沙甚微。查 1978—1983 年的“浙闽台河流水文年鉴”，南岸甬江、曹娥江 1 月份的输沙率均为零。此时杭州湾的高浓度现象有两种原因，一是长江口区 100—130 mg/l 的悬浮泥沙顺北岸南汇嘴进入杭州湾，二是潮流和风浪的掀沙，故两者叠加而成高浓度现象。冬季杭州湾呈现南北各自分离的两股浑水域，说明这是由潮流和风浪掀沙所致。由图 7 可见，南岸临山至龙山岸段有一潮间浅滩呈凸弧形向杭州湾挺出，此处为易受风浪掀沙区。由表 1 可知，此时风向为 NE，风力为 8.7 m/s，其潮情为初落期。显然南侧的高浓度现象是风浪掀沙所致。图 7 中标明北岸金山附近有一冲刷槽，可见此处是受潮流掀沙影响而出现高浓度现象。从潮情上分析，杭州湾中部为初落期，而湾口已处于落急期，图 2 中的浑水舌伸展方向与图 7 中的落潮流径方向是一致的。

图 3 为 1984 年 3 月 4 日观测的资料，代表春季悬浮泥沙浓度的分布特征。春季降雨量较冬季为大，长江口已出现高浓度现象，并与杭州湾连成一体。春季常刮东南风，使杭

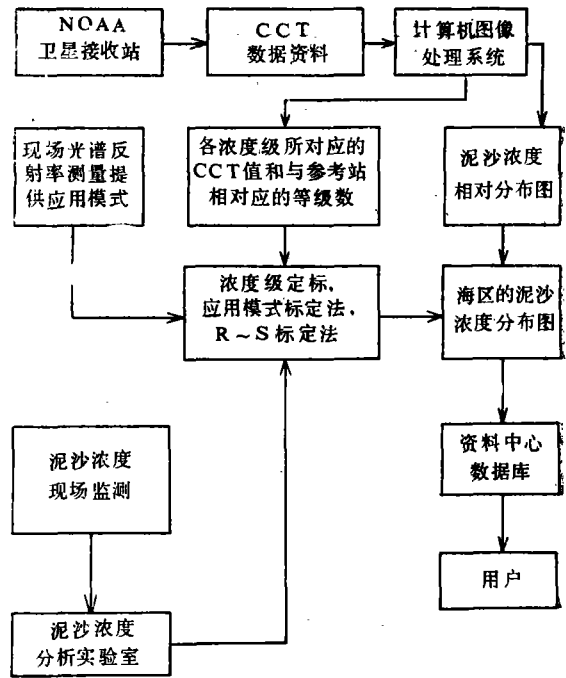


图 1 悬浮泥沙浓度的卫星遥感方框图

Fig. 1 The Flowchart of Extracting Suspended Sediment Concentration from NOAA Data

州湾内南北分离的两股浑水团混为一体。悬浮泥沙总的扩散区域春季较冬季为大，其中杭州湾口的扩散区域春冬两季基本相同，但长江口外已向海扩展了 50 km。由表 1 得知，

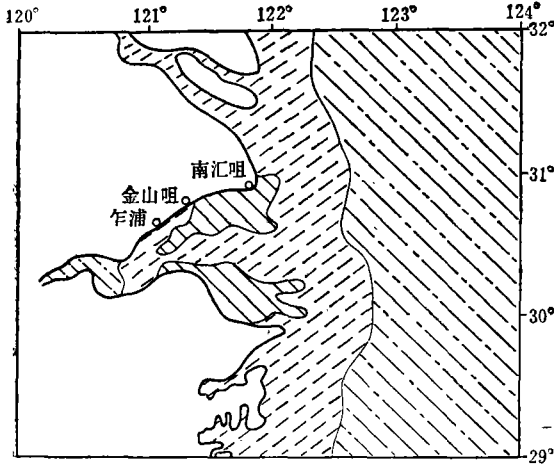


图 2 杭州湾表层悬浮泥沙浓度分布 (1984 年 1 月 6 日 15 时 10 分观测)

Fig. 2 The Distribution of Surface Concentration of Suspended Sediment in Hangzhou Bay Observed from NOAA Data at 15:10 on Jan. 6 1984

图 3 与图 2 的潮情相差不大，两者的落潮时差仅为半小时，不可能由潮情而引起长江口如此悬殊的布局，故为长江径流量增加所致。

图 4 为 1984 年 5 月 18 日观测的资料，代表夏季悬浮泥沙浓度分布特征。夏季为丰水期，长江径流量大，入海泥沙充足，钱塘江的输沙量也逐渐增大，南岸曹娥江 5 月份的输沙率为 1.5—3.4 kg/s，甬江为 0.06—0.11 kg/s，可见夏季杭州湾的泥沙来源较为丰富。夏季，长江口与整个杭州湾都呈现高浓度现象，其扩散范围继续增大，扩散区前沿呈云团状向东海挺进。

图 5 为 1984 年 9 月 23 日观测的资料，代表秋季悬浮泥沙浓度分布特征。

图 5 与图 4 相比，杭州湾的高浓度区域增大，明显向海扩展。由表 1 得知，图 5 为涨潮期，而图 4 为初落期。从高浓度区前沿的分布状态来看，其浑水浅的凹凸方向与图 7 中的涨落潮流径方向亦相一致，为什么会出现涨潮时反比落潮时的分布面积还大？作者认为这与秋季长江径流扩散路径南移有关。

图 6 为 1984 年 11 月 9 日接收到的观测资料，此时临近入冬季节，无论是高浓度区域还是扩散区域，都已达到最大范围，尤其是扩散锋面已到达 123°30'E。

2. 扩散范围

为了证实 NOAA 卫星遥感悬浮泥沙浓度分布图上勾画出来的扩散范围是否与实际相符，作者在 1987 年 5 月进行的东海断面调查中，对各个站位上的悬浮泥沙浓度进行了测量，表 2 列出了与本文有关的实测数据。

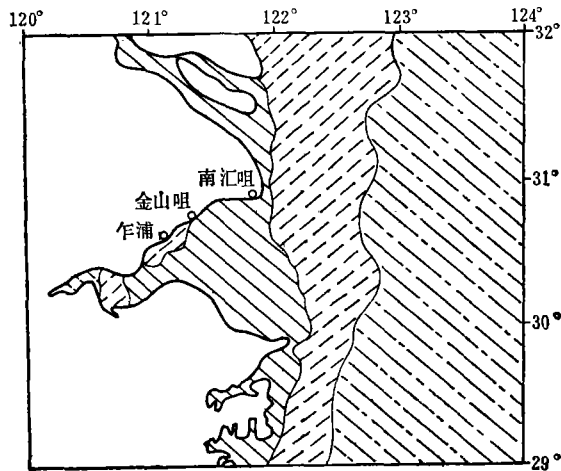


图 3 杭州湾表层悬浮泥沙浓度分布 (1984 年 3 月 4 日 15 时 06 分观测)

Fig. 3 The Distribution of Surface Concentration of Suspended Sediment in Hangzhou Bay Observed from NOAA Data at 15:06 on Mar. 4 1984

将表 2 与图 4 进行对照,二者基本相符。这充分证明夏秋两季,在 123°E 线附近的东海海域,确实受到杭州湾悬浮泥沙扩散的影响,其局部最远的扩散前沿可到达 $123^{\circ}30'\text{E}$,在 124°E 线上不再受到杭州湾悬浮泥沙扩散的影响。在 1987 年 5 月份的悬浮泥沙浓度实测数据中, $123^{\circ}30'\text{E}$ 以东的悬浮泥沙浓度均在 10 mg/l 以下,其结果与本文给出的悬浮泥沙分布图一致。因而可以断定悬浮泥沙的扩散锋面基本位于 123°E 线附近,向外扩展或向内退缩主要取决长江径流量及其季节性扩散路径的变化,由于此处远离河口湾,故与潮情的关系不大。

3. 悬浮泥沙运动方向

悬浮泥沙的运动方向,与海流(尤其是季节性沿岸流)方向、潮情(涨落潮)、风向、长江径流量及其季节性扩散路径等诸因素有关。通常可以认为浑水域为泥沙的活动带,与悬浮泥沙的运移方向有一定的联系。

在遥感悬浮泥沙分布图上,等浓度线的迁移和凸出方向,可大致表明悬浮泥沙的运动

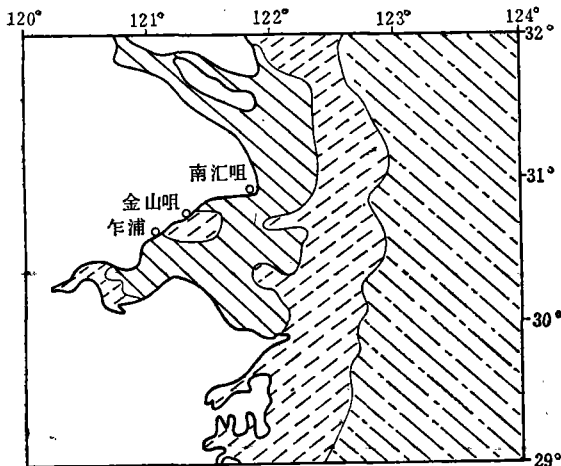


图 5 杭州湾表层悬浮泥沙浓度分布
(1984 年 9 月 23 日 15 时 18 分观测)

Fig. 5 The Distribution of Surface Concentration of Suspended Sediment in Hangzhou Bay Observed from NOAA Data at 15:18 on Sep. 23 1984

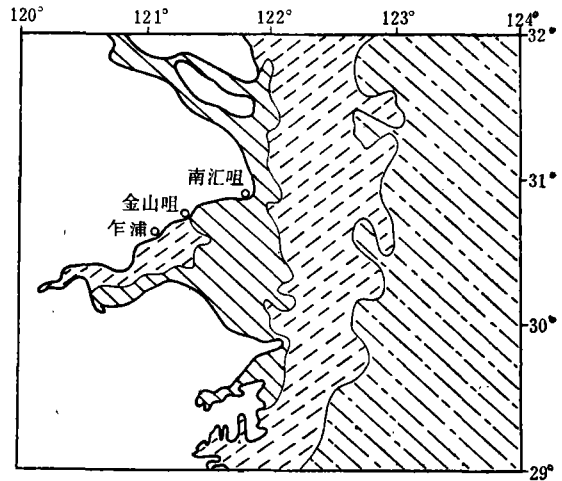


图 4 杭州湾表层悬浮泥沙浓度分布
(1984 年 5 月 18 日 14 时 50 分观测)

Fig. 4 The Distribution of Surface Concentration of Suspended Sediment in Hangzhou Bay Observed from NOAA Data at 14:50 on May. 18 1984

方向。据此,可根据图上的悬浮泥沙浓度分布特征,识别它的运动方向。杭州湾的悬浮泥沙,涨潮时向湾内运动,落潮时向海运动,这在悬浮泥沙浓度分布图上有明显的特征^[2]。然而,自南至北和自北至南的季节性沿岸流,控制着悬浮泥沙的南、北向运动。夏季由南至北的沿岸流强盛,控制杭州湾向外扩散的悬浮泥沙净向北运动。中秋前后为反向交换期,此时由南至北的沿岸流开始削弱,而由北至南的沿岸流日趋强盛,促使杭州湾向外扩散的悬浮泥沙向南运动。冬春交接期间基本稳定。这在本文中的遥感悬浮泥沙浓度分布图上可以找到依据。从 5 月 18 日观测的资料(图 4)中可以看出,浙江沿岸水域存在高浓度现象,

到了9月23日(图5),此处的高浓度区已消失,表明在这段时间内此处的悬浮泥沙已向北运移。在11月9日观测的资料中,浙江沿岸水域又出现高浓度现象,表明这一时期悬

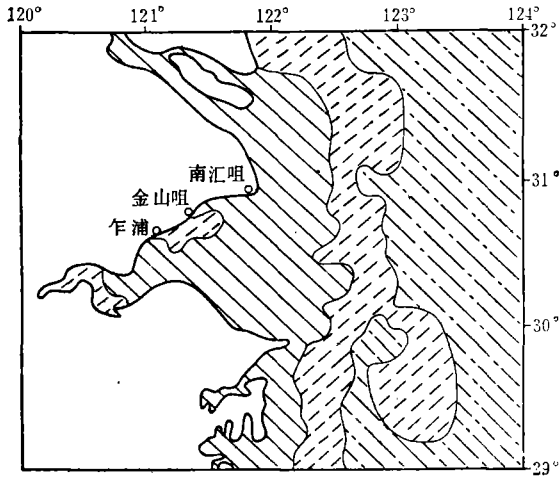


图 6 杭州湾表层悬浮泥沙浓度分布
(1984年11月9日15时39分观测)

Fig. 6 The Distribution of Surface Concentration of Suspended Sediment in Hangzhou Bay Observed from NOAA Data at 15:39 on Nov. 9 1984

浮泥沙是向南运移的。对于浑水域南界的移动距离作者曾作过统计,从9月23日至11月26日,浑水域南界向南约移动了160 km^[2],平均每天约移动2.5 km。

4. 季节性变化

从图2—6中可以看出,杭州湾悬浮泥沙浓度分布随季节而变化的规律。冬季(图2)为枯水期,长江入海泥沙量少,长江口区的悬浮泥沙浓度 $S \leq 150 \text{ mg/l}$,杭州湾内的高浓度区主要受潮流和风浪掀沙所控制,其分布范围也较小。虽然冬季由南至北的沿岸流较强,但长江径流量小,因而悬浮泥沙向南扩散并不显著。春季(图3)降水量较冬季为大,长江口区开始

出现高浓度现象,并与杭州湾连成一体,浑水域外界位于口门附近,其悬浮泥沙的扩散范

表 1 NOAA 卫星成像时间和现场数据

Table 1 The Time Series of NOAA and Some in-situ Data

日 期	成像时间	相应潮时	潮 差 (m)	风 力 (m/s)	风 向
1984年1月6日	15:10	H+0103	4.73	8.7	NE
1984年3月4日	15:06	H+0140	3.93	8.3	ESE
1984年5月18日	14:50	H+0048	3.46	4.4	ESE
1984年9月23日	15:18	L-0205	3.93	5.3	E
1984年11月9日	15:39	L-0323	4.03	5.6	SSE

注:表中H为高平潮;L为低平潮。

表 2 1987年5月东海断面悬浮泥沙浓度 (mg/l) 实测数据

Table 2 The Data of Suspended Sediment Concentration (mg/l) of East China Sea Observed by Ship in May 1987.

N 浓度 (mg/l)	E				
	33°	32°	31°	30°	29°
122°30'	26.6	50.8	35.6	19.4	17.0
123°	15.0	30.9	19.1	18.3	15.3
123°30'	7.3	16.3	9.1	10.7	6.8

围较冬季略有向海扩展。夏季(图 4)为丰水期,长江入海泥沙量较为丰富,整个长江口和杭州湾均呈高浓度状态,悬浮泥沙向海扩散较为强烈,浑水域外界前锋抵达 $120^{\circ}20'E$ 。夏季由南至北的沿岸流极盛,促使浑水域南界向北移动,北界也随之而向北推进。夏季暖流也向浙江沿岸逼近,导致扩散区前沿明显向岸靠拢。秋季,其高浓度分布区域为最大,图 5 较图 4,浑水域外界明显向海扩展。中秋时节,浑水域南界终止向北移动,并随之而转为向南移动。图 5 与图 6 进行对照,就更能说明此迹象。秋季浑水域外界在长江口区基本保持不变,而在杭州湾口且明显向海扩展了约 40 km,南界也至少向南移动 100km,这在上文已叙述过,可能与长江径流扩散路径南移有关。总之,浑水域和扩散区的空间分布是随季节的变化而变的。

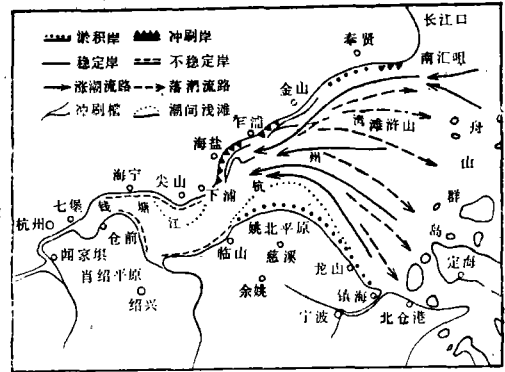


图 7 杭州湾涨落潮流径分布图

Fig. 7 The Distribution of Flood and Ebb Current in Hangzhou Bay

四、悬浮泥沙对海区环境的影响

杭州湾的悬浮泥沙来源十分丰富,主要来自长江口区的扩散,其次是潮流和风浪的掀沙。而钱塘江流域来沙年平均为 700 万 t,这部分泥沙又大部分在激浦以上河段内堆积,

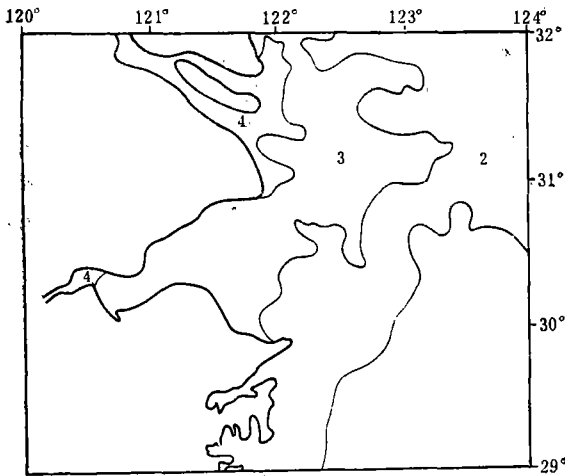


图 8 相对温区分布图

Fig. 8 The Temperature Pattern in Hangzhou Bay Shown by NOAA

形成著名的钱塘江河口沙坝,实际进入杭州湾的泥沙甚少,对高浓度现象没有直接影响。在涨潮流的作用下,长江口的悬浮泥沙顺南汇嘴进入杭州湾,而在落潮流的作用下,将杭州湾内的悬浮泥沙携带至邻近海域,从而造成扩散影响。从遥感悬浮泥沙浓度分布图上看,杭州湾的悬浮泥沙向海扩散的范围是引人关注的,其扩散锋面已超过 $123^{\circ}E$ 线,直接影响到黄泽洋和黄大洋。作者认为悬浮泥沙实际上是一种示踪剂,即悬浮泥沙到达的范围可大致表明长江冲淡水 and 陆源物质的可达范围。这在 NOAA AVHRR- CH_1 ($10.5-11.5 \mu m$) 通道接收的片

子上可以找到依据。

图 8 为等温区分布图,共分 4 级相对等温区。图中“1”表示最高温区,“4”表示最低

温区。由图可见,长江口和钱塘江口为第“4”温区,即淡水温区,则第“3”温区为冲淡水温区。显见冲淡水锋面已到达 123°E 线,与悬浮泥沙扩散锋面一致。

鉴于上述两种情况,认为来自陆源的丰富的营养物质同样可随着悬浮泥沙扩散到舟山洋、黄泽洋和黄大洋,此处是我国的重要渔场。陆源营养物质可作为藻类的生存基础,而藻类又为鱼类提供丰富的食物,有利于提高渔场中的渔获量。然而,通过悬浮泥沙这一示踪剂亦提醒人们,有害于海区自然环境的陆上污染物,如工业倾倒废物等,同样会随着悬浮泥沙扩散到该海区,危害渔场。

杭州湾的自然环境保护应引起重视。随着杭州湾两岸工业区的发展,港口的增多,海区自然环境受污染的危险也日益增加,必须采取有效的防护措施。因此,在杭州湾海区(包括港口),必须按照国家海洋管理法规定的标准排放工业废水,并严禁排放油污和倾倒垃圾等有害物质,以免扩散到渔场,造成不应有的经济损失。

五、悬浮泥沙对建港工程的影响

长江年平均携带近 $5 \times 10^8 \text{t}$ 泥沙入海,杭州湾以长江口为邻,深受长江泥沙扩散之影响。由于杭州湾水浅(平均水深为 7—10 m)、流急(最大流速达 4 m/s 以上),潮流挟沙能力很强,涨、落潮流的悬浮泥沙浓度都大。高浓度的悬浮泥沙易使海区淤涨,势必对建港工程带来影响。

杭州湾的港址选择问题,由图 7 可见,由于东南方向来的涨潮流在滩浒以西北岸受阻,辐聚增强,致使杭州湾北岸不断受到冲刷后退;而南岸则向海不断淤涨,其中临山至龙山岸段淤涨尤为迅速。显然南岸地段不宜建港。而北岸金山咀至乍浦岸段有一深槽,岸前水深一般可达 10—13 m 左右。现在北岸海堤防护坚固,海岸后退得到控制。从遥感悬浮泥沙浓度分布图来看,杭州湾北域虽然处于高浓度状态,但金山咀至乍浦近岸水域常被清浊混合水体所占居,并非最高浓度区。由于此处位于杭州湾中部地段,水流急,滞流期(指高低平潮)短,悬浮泥沙沉积机会少,因此即使在滞流期部分沉积的细粒泥沙亦会被涨落潮流重新掀起,并随流带走。又因此地段有秦山、独山等中小山峰林立,形成了天然的避风港,因而金山咀至乍浦一带为开辟中小型港口的良好场所。众所周知,任何水工建筑都会影响动力场和泥沙场,问题的关键是如何因势利导,防止延长滞流时间。

参 考 文 献

- [1] 赵太初,悬浮泥沙水体的光辐射特性,海洋通报,2(4),1983。
- [2] 陈夏法,应用遥感技术研究杭州湾秋季悬沙的动态特征,东海海洋,6(2),1988。

THE ANALYSIS OF MULTITEMPORAL REMOTE SENSING IMAGES FOR SUSPENDED SEDIMENT IN HANGZHOU BAY

Chen Xiafa

(The Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration)

Abstract

The author analyses the distributive characteristics of the diffusive region and the seasonal change of Surface concentration of suspended sediment in Hangzhou Bay, using NOAA-AVHRR images in 1984, and further appraises the influence of environment over the sea waters, using suspended sediment as tracing.