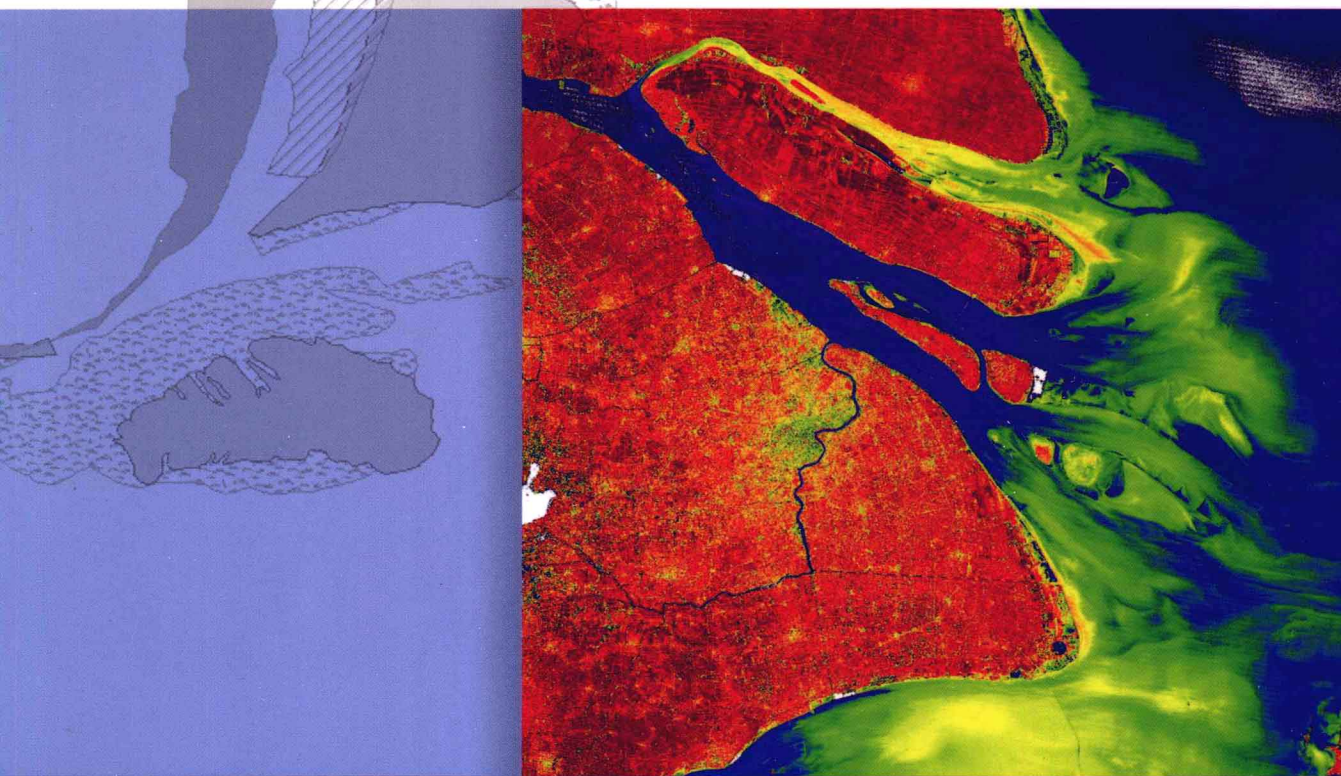


CHANGJIANGKOU JIN'AN SHUIYU
WEIXING YAOGAN YINGYONG JISHU YANJIU



长江口近岸水域 卫星遥感应用技术研究

韩震 恽才兴 著

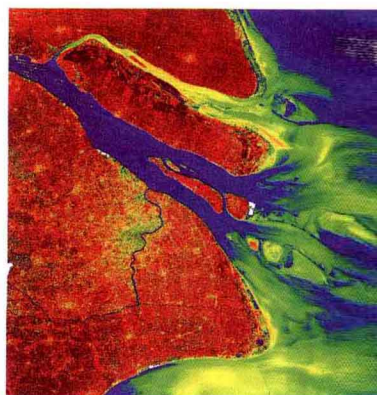


海洋出版社

长江口近岸水域 卫星遥感应用技术研究

CHANGJIANGKOU JIN'AN SHUIYU
WEIXING YAOGAN YINGYONG JISHU YANJIU

韩 震 恽才兴 著



海洋出版社

2011年·北京

图书在版编目(CIP)数据

长江口近岸水域卫星遥感应用技术研究 / 韩震, 恽才兴著.
—北京: 海洋出版社, 2011.2
ISBN 978-7-5027-7952-8

I. ①长… II. ①韩… ②恽… III. ①长江流域—卫星遥感—遥感技术—研究 IV. ①TV882.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第011881号

责任编辑: 高朝君
责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京画中画印刷有限公司印刷

2011年2月第1版 2011年2月北京第1次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 8.5

字数: 125千字

定价: 68.00元

发行部: 62147016 邮购部: 68038093 图书中心: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换

随着国内外空间技术的发展，世界各国已经发射了众多的对地观测卫星。我国已经发射并在轨运行的就有气象卫星、地球资源卫星、海洋卫星及环境减灾卫星等。这些卫星每天获取全球海量的遥感信息，而已被利用的其实仅占很小的一部分，大量的卫星对地观测数据未被利用，可利用的潜力巨大。另外在应用需求方面也同样巨大，只是遥感应用技术未跟上。随着我国经济的高速发展，尤其沿海地区城市化过程加速，大型的交通、水利等基础设施的建设，资源消耗增长，环境污染加剧，使海岸带及近海水域的资源环境发生显著变化。这些快速变化的信息，靠传统的、常规的手段，难以及时掌握和更新。在这方面卫星遥感可以成为监测海岸带及近海资源环境变化的有效手段。

本书作者针对长江口水域的资源环境问题，在国家 and 有关部委科研项目的支持下，以遥感应用技术为手段，开展了长江口水域遥感技术应用的研究。上海傍依长江口，而长江河口为丰水、多沙、中等潮汐强度的分汊河口，其资源环境受长江上游来水、含沙量、潮汐、风暴潮等自然因素的影响，使河口的潮滩不断沉积、迁移、发育、成长、变化，其变化对上海的发展影响尤为重要。近几十年，我国经济快速发展，基础建设加强，长江三峡工程的建成，长江口航道的疏浚改造等，加快了河口环境的变迁。作者应用遥感技术，研究了河口潮滩植被群落的时空变化，时间跨度为1955—2008年，其中有些数据追溯到遥感技术发展之前。作者研究了潮滩水边线、潮沟等信息的提取，为了准确提取淤泥质潮滩高程及冲淤变化的信息，作者计算了不同时间、不同地点的潮滩，在定量反演中给予修正。在植被研究中，作者对崇明东滩植被的主要种群：芦苇、海三棱藨草及互花米草的光谱特征作了研究并进行了分类反演。在长江口悬浮泥沙含量研究中，作者以长江口泥沙为样本，在试验水槽中进行了表层悬浮泥沙含量的光谱特性测量。这些都为遥感技术应用奠定了扎实的基础。通过上述研究，作者开发了近岸海域悬浮泥沙浓度、岸滩冲淤变化、潮滩地形和植被时空分布等卫星遥感定量反演技术。在我国HY-1B上天后，作者利用HY-1B的资料作了监测长江口动态变化研究。

本书是作者多年研究成果的总结，我相信本书能为读者提供难得的信息和资料，对我国利用遥感技术开展河口和海岸带的环境资源监测具有重要的促进作用和科学意义。同时我祈望大家通过这类研究，充分利用众多对地观测卫星资料，尤其是如何利用多源、多通道、多时相、主被动探测的星载遥感数据，在国民经济建设中让遥感应用技术发挥更大的作用。

中国科学院院士



2010年11月26日

序二

长江口是中国河口的精粹。长江贯穿中国东、中、西部的黄金水道。要说江苏、浙江和上海构成的长三角是中国经济快速发展的龙头，那么长江河口可以称得上“龙嘴”，有它独特的作用。遗憾的是近年来，随着经济的发展和人类活动的加剧，长江河口生态环境日趋恶化，服务功能下降与可持续利用能力降低，将制约“龙头”的作用。

为实现长江口近岸水域的可持续利用、保护生物多样性、防御自然灾害、控制污染等目标，更科学地制定社会和经济可持续发展政策，亟需调查和监测目前该区域的资源与环境背景状况。针对长江口门宽阔、经潮流强劲、泥沙运动复杂、河槽嬗替多变状况，本书作者充分发挥卫星遥感应用技术作用，建立了卫星遥感地物反演模型，从而实现了植被群落、淤泥质潮滩水边线、潮沟和冲淤的动态监测。值得庆喜的是该书利用卫星资料回顾了长江口近岸水域的生态环境历史，展现了现在面貌，还有可能预测它的将来变化趋势。这给“龙嘴”水道综合开发和智力决策提供了扎实的技术支撑，也为卫星海洋遥感的技术发展添砖加瓦。在此一贺。

本书在老一代科学家恽才兴教授的指点下，我欣喜地发现了年青新一代遥感科学工作者的成长，祝愿“青出于蓝胜于蓝”。希望年青一代为我国海洋遥感科学事业发展，围绕国家需求作出更多原创性贡献。

中国工程院院士

潘德明

2010年12月

前言

长江口地处我国东部沿海，凭借其自身丰富的自然资源和关键的地理位置成为国际竞争和经济开发的重要区域。为实现长江口的可持续发展，亟需调查目前长江口资源与环境背景资料。对大范围的资源环境问题，如果仅靠地面工作，由于人力、物力、财力的限制，很难在大面积上做到同步观测，取得信息的全面性和可比性也都比较差。星载遥感技术具有大尺度、快速、同步、动态观测和节省投资等突出优势。目前，星载遥感已从单一的科学实验发展到多源、多通道、多极化、主动与被动多系列遥感的综合应用技术。如何利用多源、多通道、多时相、主被动融合的星载遥感数据获取地球环境信息是遥感对地监测的关键性任务。

《长江口近岸水域卫星遥感应用技术研究》全书共分八章，研究内容涉及植被指数在潮滩湿地植被信息提取中的应用研究、典型潮滩植被群落遥感时空动态变化分析、淤泥质潮滩水边线信息提取、淤泥质潮滩潮沟信息提取和分维研究、淤泥质潮滩高程及冲淤变化遥感定量反演、长江口表层悬浮泥沙光谱特性遥感研究以及HY-1B卫星应用等方面的研究工作，供专业工作者和读者在开展遥感应用研究时参考。

本书得到了教育部科学技术研究重点项目（项目编号：209047）、上海市教委科研创新重点项目（项目编号：08ZZ81）、上海市科委地方院校能力建设项目（项目编号：08230510700）、国家863项目（项目编号：2001AA630301、2001AA630601）和上海市第四期教育高地建设项目（海洋技术特色专业建设）等课题的资助。上海海洋大学刘瑜、郭永飞、张宏、李睿、柴勋、彭飞、陈翔和沈蔚等参加了课题部分研究工作。在此，作者对上述给予支持的单位和个人一并致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，敬请广大读者和专家批评指正。

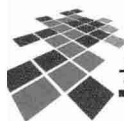
韩 震

2011年1月书于上海临港新城

CONTENTS 目次

第1章 绪论	1
1.1 研究范围	2
1.2 研究内容	3
1.3 长江口环境概况	4
第2章 植被指数在长江口潮滩湿地植被 信息提取中的应用	9
2.1 主要植被的光谱特征分析	10
2.2 植被指数计算	13
2.3 TM影像植被指数计算	14
2.4 TM影像潮滩植被信息提取	19
2.5 SPOT影像植被指数计算	20
2.6 潮滩植被的散射特性	22
2.7 SPOT 5和Envisat-1 ASAR数据融合进行潮滩植被信息提取	23
第3章 长江口典型潮滩植被群落遥感时空 动态变化分析	27
3.1 崇明东滩	28
3.2 九段沙	32
3.3 南汇潮滩	35
第4章 淤泥质潮滩水边线信息提取	40
4.1 小波多分辨率分析方法	42





4.2	数学形态学方法和构造线段型结构元素结合	48
4.3	红外与微波多源遥感数据融合	51
第5章 淤泥质潮滩潮沟信息提取和分维研究		59
5.1	区域生长法	60
5.2	灰度形态学方法	63
5.3	潮沟分维	65
第6章 淤泥质潮滩高程及冲淤变化遥感定量反演 ...		69
6.1	技术路线和分析方法	70
6.2	长江口淤泥质潮滩概况	72
6.3	数据处理及分析	73
6.4	崇明东滩	76
6.5	九段沙	78
第7章 长江口表层悬浮泥沙光谱特性遥感研究		81
7.1	水体悬浮泥沙配比实验	82
7.2	长江口水域悬浮泥沙光谱测量	92
7.3	基于神经网络的长江口悬浮泥沙浓度研究	101
第8章 HY-1B卫星在长江口动态变化监测中的 应用		107
8.1	概述	108
8.2	系统结构	109
8.3	显示与输出	113
参考文献		118

第1章

绪论

- 1.1 研究范围
- 1.2 研究内容
- 1.3 长江口环境概况



1.1 研究范围

海岸带是海与陆交汇的特殊地带，具有较高的海洋生产力和独特的生态系统。从海岸带自然生态系统含义考虑，它涉及河口、海湾、潟湖、海峡、三角洲、淡水森林沼泽、海滨盐沼、海滩、潮滩、岛屿、珊瑚礁、海滨沙丘及各类海岸的近岸和远岸水域，其向陆方向上界为潮波、潮流盐水和半咸水影响的地区，海域的狭义部分为近岸浅水地区，广义部分可扩展至整个大陆架（图1-1）。从海岸变化的地质过程和物理过程角度出发，海岸带的陆上界限应是古海岸线和最大风暴潮达及的区域，海域界限为波浪作用影响的浅水地区和河口羽流输移扩散的外界。

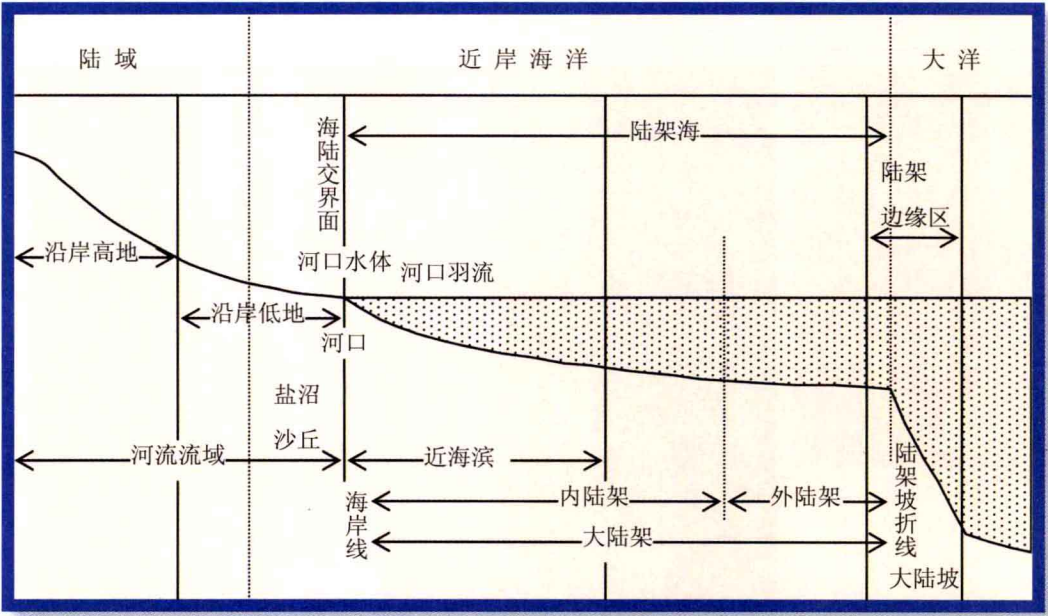


图 1-1 海岸带及近海分区

长江河口地处我国东部沿海，河口段自徐六泾以下，先被崇明岛分为南支和北支，南支在吴淞口附近被长兴岛分为南港和北港，南港在横沙岛附近又被九段沙分为南槽和北槽，从而形成“三级分汊、四口入海”的形势（见图1-2）。长江口凭借其自身丰富的自然资源和关键的地理位置成为国际竞争和经济开发的重要区域。

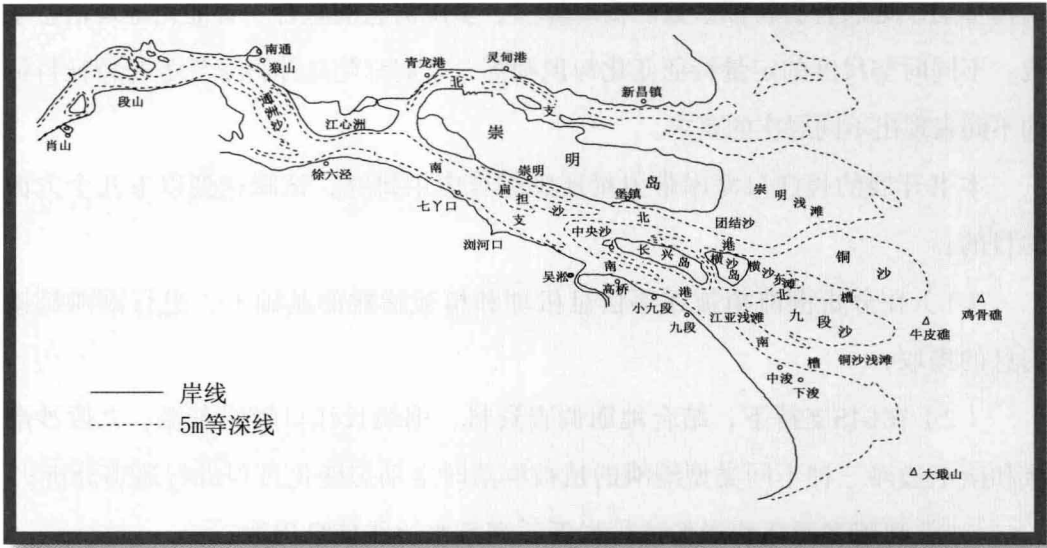


图1-2 长江口分汉形势

1.2 研究内容

在国家中长期科学发展规划中，空间遥感与对地观测技术是取得政府与科技发展和应用部门一致共识的重要方向。随着国际上一些大型空间对地观测计划的逐步实施，卫星应用领域得到迅速发展。遥感信息技术已成为在国家层面上调查与获取海岸带资源环境基本数据、评估国家沿海社会经济和可持续发展能力的有力工具。联合国海洋学委员会2000年提出了全球海洋观测系统（GOOS）的沿海部分战略计划——全球沿海海洋观测系统（C-GOOS），强调海岸带资源环境问题的严重性和建立全球沿海观测系统的必要性，主要目标是增强监测和预测海岸带资源环境系统变化的能力，更好地管理和恢复健康的海岸带资源环境系统，保护公众健康，减轻灾害损失。

由于海岸带范围广、变化频繁，对其进行常规的现场测量十分困难，而空间遥感信息技术则成为海岸带变化监测的有效手段。但是遥感的海量数据图像并不直接等于定量的科学信息，空间遥感数据到信息转化的研究是自始至终贯穿在遥感信息获取与处理的过程之中。它包括遥感机制、理论建模与模拟、特征反演与



结构重建,地表各类特征参数的提取算法、多源信息的融合、智能化地理信息系统、不同时空尺度的定量特征变化与识别等,它们都随具体科学任务与特征目标的不同表现出不同层次的要求。

本书开展的长江口海岸带卫星遥感综合应用研究,试图达到以下几个方面的目的:

(1) 在分析潮滩植被遥感信息机理和植被指数的基础上,进行潮滩植被信息的提取;

(2) 在GIS支持下,结合地面调查资料,围绕长江口崇明东滩、九段沙潮滩和南汇边滩三种不同类型潮滩的植被群落时空动态变化过程进行遥感分析;

(3) 利用多源遥感影像进行淤泥质潮滩水边线信息提取;

(4) 结合常规调查资料和野外调查工作,利用淤泥质潮滩水边线提取技术和潮位站实测水位进行潮滩地形反演,进行长江口淤泥质潮滩高程及冲淤变化遥感定量反演;

(5) 进行长江口表层悬浮泥沙光谱特性和遥感定量反演研究。

1.3 长江口环境概况

1.3.1 地貌和土壤

长江口在地质构造上位于扬子地块与华南地块的结合带,整个区域自晚白垩世以来基本上处于相对隆起背景。长江河口为丰水、多沙、中等潮汐强度的分汊河口。长江每年携带的4.7亿t(2003年减少到约为2亿t)泥沙中约有一半堆积于滨岸潮滩上,使潮滩不断向海推进。潮滩沉积物一般以细颗粒黏土质粉沙与粉沙为主,其次是沙质粉沙、粉沙质沙及细沙。由于水动力条件的差异,滩地自然地貌和沉积分带明显,自陆域向海域依次发育高、中、低潮滩。沉积物含泥量从高潮滩向低潮滩呈递减趋势,粒度从高潮滩向低潮滩逐渐增大。通常高潮滩沉积物以黑色-青灰色粉沙质黏土和黏土质粉沙为主,滩面上芦苇和海三棱藎草发育茂盛,呈连绵片状分

布；中潮滩沉积物由青灰色黏土质粉沙和粉沙组成，滩地植被以斑状分布的海三棱、蘆草为主；低潮滩沉积物最粗，多为粉沙和细沙质粉沙，局部为细沙，滩面上无植被发育。由于受围垦、海浪侵蚀以及沿岸港口、机场和现代工业园区开发建设的影响，长江口南北岸的许多岸段实际上已无高、中潮滩出露。

长江口潮滩植被主要有芦苇群落、海三棱蘆草群落、苔草群落、糙叶苔草群落和鸭嘴草群落等；芦苇和海三棱蘆草群落是长江口潮滩最主要的植被类型，无论分布面积或生长数量，都超过其他植被。芦苇与海三棱蘆草交界处是一混生地带，吴淞零点高程+2 m左右的中潮滩地带最宜生长海三棱蘆草。海三棱蘆草具有较强耐盐、耐碱和耐淹能力，是滩涂上的先锋群落。海三棱蘆草地下茎延伸速度较快，常可发展成大片群落，在地下茎上生有椭圆形球茎。海三棱蘆草群落依据植株高度和密度，分为群落内带和外带。外带植株呈点状分布，生长不高，随根茎的不断伸展植株数增多，使海三棱蘆草群落内带不断向海扩展。群落外貌整齐，结构简单，季相明显，冬季枯黄，春夏碧绿，8—10月为花果期。

1.3.2 气候和气象

长江口地处北亚热带南部，属典型的亚热带海洋性季风气候。气候温和湿润，四季分明，雨水丰沛，日照充足。受地理位置和季风影响，气候具有海洋性和季风性双重特征。冬季寒冷干燥、夏季高温多雨、春季冷暖干湿多变、秋季秋高气爽构成了长江口地区的气候特点。据区内各气象站资料统计，长江口地区年平均气温为 $15 \sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最高气温 $40.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ （1934年7月），最低气温 $-12.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ （1983年1月），多年月平均最高气温为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ （8月），多年月平均最低气温为 $6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ （2月）。

长江口地区风向有明显的季节性变化，常年风向为NNE和SSE，次常风向为NNW，频率为9.1%，风向随季节变化显著，夏季盛行偏S向风，冬季以N向风为主，月平均风速以冬春两季各月较大，最大风速多发生在夏季的台风期，多年平均风速为 $3 \sim 4\text{ m/s}$ 。风力大于6级的大风日数多年平均为41 d，占全年11%，年内以12月和1月出现大风天数为最多，5—6月则最少。

长江口地区降水充沛，根据横沙站20年资料统计，年平均降水量1 030 mm，



年平均降水日数约125 d。最大日降水量135 mm（1979年9月10日），年平均降雨118 d。夏季降水量约占全年降水量的45%，尤以梅雨期降水日数多、雨量大且多暴雨，冬季降水量约占全年降水量的10%。长江口区光照充足，年平均日照时数2 000~2 100 h，年平均蒸发量1 200~1 400 mm，年平均相对湿度约为80%。

1.3.3 海洋水文

1) 长江口海域表层水温的季节、年际变化

长江口表层水温的季节变化具有显著的中纬度表层水温特征，每年有1个峰值。2—8月，表层水温持续上升，8月份达最高值，8月以后表层水温开始下降，翌年2月出现最低值。春、秋季为过渡季节，春季（3—5月）为水温上升季节，秋季（9—11月）为水温下降季节。

长江口地区表层水温的年际变化显示，20世纪60年代到80年代中后期，长江表层水温多数年份是负距平，为相对冷期。80年代后期以后，长江口表层水温多数年份是正距平，只有1989年、1992年、1993年和1996年4年出现负距平，属暖期。年平均表层水温最低值出现在1969年，为15.9℃，最高值出现在1998年，为18.5℃。计算每个年代的平均表层水温，20世纪60年代为-0.18℃，70年代为-0.24℃，80年代有所上升，为-0.14℃，90年代增幅较大为0.44℃。可见长江口表层水温经历由冷到暖的变化过程，70年代最低，多为“冷水”年，90年代最高，多为“暖水”年。

此外，长江径流对长江口表层水温的年际变化有重要影响，长江径流量大的年份，长江口年平均表层水温偏高；长江径流量小的年份，长江口年平均表层水温偏低。长江径流对长江口表层水温季节变化的直接影响主要在春、冬两季，夏、秋两季较小。春、冬季长江径流携带大量的冷水使长江口表层水温降低。

2) 水沙特性

长江河口水量丰沛，据大通站多年实测水文资料，多年平均流量为

$2.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$, 多年平均径流总量为 $8\,930 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均最大流量 $39\,453.42 \text{ m}^3/\text{s}$ (1998年), 年均最小流量 $21\,431.64 \text{ m}^3/\text{s}$ (1978年)。最大年径流总量 $12\,442 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1998年), 最小年径流总量为 $6\,759 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1978年)。百年一遇的最大洪峰流量为 $92\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ (1954年8月1日), 五十年一遇的最大洪峰流量为 $84\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ (1999年7月22日), 最小径流量为 $4\,620 \text{ m}^3/\text{s}$ (1979年1月31日)。在世界大河中流量居第五位。受季风气候影响, 长江流域降水多集中在夏季, 而冬季较少, 因此长江径流有明显的洪枯季变化, 5—10月为洪季, 径流量占全年径流量的71.7%, 以7月径流量最大; 11月到翌年4月为枯季, 径流量只占年径流量的28.3%, 以2月径流量最小。

输沙量年内分配不均匀性较径流量更为明显, 洪季(5—10月)6个月的输沙量占年输沙总量的87.2%, 而枯季(11月到翌年4月)6个月的输沙量只占全年的12.8%。其中7月输沙量最多, 占全年的21.9%, 2月最少, 仅占0.6%, 月平均最大与最小输沙量之比为35.6:1。

长江口水体盐度在-15~-20 m处, 大、中、小潮的平均含盐度在20~25; 导堤下口处盐度为10~15, 导堤上口处大潮为1左右, 中潮为0.5~1, 小潮在0.5左右。口内盐度在夏季南支各汊道平均在1以下, 北支稍高, 盐度值由口内向外递增。冬季情况与夏季相似, 但盐度值比夏季高, 15等盐度线由夏季的绿华山向西推移至大戢山, 淡水舌退至北港和南港的南北槽, 盐度还随涨、落潮和大、小潮而变化。

3) 潮汐与波浪

长江口属中等强度潮汐河口, 口外为正规半日潮, 口内为非正规半日浅海潮。南支潮差出口门往里递减, 口门附近的中浚站多年潮差为2.6 m, 最大潮差为4.62 m, 至黄浦江口的吴淞站多年平均潮差减小为2.21 m。潮流在口内为往复流, 一般为落潮流速大于涨潮流速, 出口门后逐渐向旋转流过渡, 旋转方向多为顺时针方向。长江北槽洪季大潮平均流速: 涨潮0.72 m/s, 落潮0.74 m/s; 洪季中潮平均流速: 涨潮0.69 m/s, 落潮0.74 m/s。潮汛变化对涨潮平均流速影响明显, 对落潮平均流速影响不明显。



长江口口门外的波浪通常为风浪或者风浪、涌浪兼有的混合浪，以混合浪为主。口内基本无涌浪，波型以纯风浪为主。长江口的波高变化与风速变化近乎一致，以口门附近引水船站测定的波高特征值为例，夏季SSE方向波浪较大，平均波高为1.2 m，月最大平均波高1.9 m；冬季NW、NNW向波浪较大，平均为1.4 m，月最大平均波高2.7 m。由于长江口口门水深较浅，风浪掀沙作用在长江口口门地区非常明显，使得拦门沙区域的含沙量普遍高于口内河段。

第2章

植被指数在长江口 潮滩湿地植被信息 提取中的应用

- 2.1 主要植被的光谱特征分析
- 2.2 植被指数计算
- 2.3 TM影像植被指数计算
- 2.4 TM影像潮滩植被信息提取
- 2.5 SPOT影像植被指数计算
- 2.6 潮滩植被的散射特性
- 2.7 SPOT 5和Envisat-1 ASAR数据
融合进行潮滩植被信息提取