

珠江河口悬浮泥沙遥感数据集*

邓明 黄伟[†] 李炎

(国家海洋局第二海洋研究所, 海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室 杭州 310012)

[†](香港科技大学海岸与大气研究中心 香港)

提要 选择 1995—2000 年间 NOAA 系列卫星 AVHRR 传感器获取的珠江口及其邻近海域可见光和近红外遥感数据, 利用基于海面-遥感器光谱反射率斜率传递现象的悬浮泥沙遥感算法, 建立珠江口及其邻近海域 152 个时相的悬浮泥沙数据集, 进行悬浮泥沙浓度分布和变动规律的特征累积频率悬浮泥沙浓度、均值与均方差统计。结果表明, 珠江口河口浅滩是悬浮泥沙浓度的高值区。随着径流、潮流的相互关系的变动, 珠江口的悬浮泥沙浓度具有明显的季节变化, 内伶仃洋悬浮泥沙浓度季节变动幅度最大, 而磨刀门外浑浊水体的延伸方向变动幅度最大。

关键词 卫星遥感, 悬浮泥沙, 时间序列, 珠江口

中图分类号 P737.14

近海悬浮泥沙遥感是一项重要的海洋遥感研究课题, 长序列遥感数据集是广泛应用于海洋学分析和海洋数据模型同化的海洋遥感产品。由于大气纠正环节上的困难, 二类水体的悬浮泥沙遥感一直未能形成类似一类水体叶绿素和陆地植被指数等稳定的长序列产品(Gordon *et al.*, 1973; Holyer, 1978; Stumpf *et al.*, 1989; 李京, 1987; Li *et al.*, 1992; 孙效功等, 2000)。近年国家 863 计划 818-06-03 项目发展的悬浮泥沙遥感算法(Li *et al.*, 1998b; 李炎等, 1999), 提供了实现二类水体的悬浮泥沙长序列遥感的可能。针对珠江污染研究计划对长序列悬浮泥沙数据的需求, 作者采用该算法实现了珠江河口及邻近海域悬浮泥沙遥感长序列产品获取, 并应用 1995—2000 年间 152 个时相的悬浮泥沙遥感数据集, 分析珠江河口及邻近海域悬浮泥沙浓度分布规律和季节性演变。本文主要介绍数据集的基本算法、图象处理、数据集结构及其分析评价产品。

1 算法原理

遥感方法探测水体中悬浮泥沙浓度的核心问题, 在于建立遥感数据和悬浮泥沙浓度之间的定量关系。该关系可分为大气中的海面-遥感器光谱反射率联系(大气纠正)和水下的悬浮泥沙浓度-海面光谱反射率关系两个部分。

大气程辐射是海洋遥感的主要噪声源, 包括瑞利散射和气溶胶散射。目前通用的大

* 香港赛马会资助项目, 珠江水域污染研究计划; 国家 863 计划资助项目, 818-06-03 号; 国家自然科学基金资助项目, 49976011 号。邓明, 女, 出生于 1974 年 5 月, 硕士, E-mail: medengming@yeah.net; 通讯作者: 李炎, E-mail: liyan@mail.hz.zj.cn

收稿日期: 2000-08-26, 收修改稿日期: 2001-08-15

气纠正方法是针对一类水体提出的清洁水法(Gordon *et al*, 1978、1983;潘德炉等,1997)。该方法以离水辐射率 $L_w(\lambda_0)$ 为零或近似为零的某波段为基准,从遥感器测量到的 L_r 值中扣除大气中的瑞利散射 L_m 值,得到该波段气溶胶散射 $L_a(\lambda_0)$ 值,再根据气溶胶波谱特点,推算其他波段的气溶胶散射 $L_a(\lambda)$ 值。实验表明,一类海水在 $\lambda_0 = 670\text{nm}$ 左右存在或近似存在 $L_w(\lambda_0)$ 为零的现象,可以使用上述通用方法。但对浑浊的二类水体,清洁水法就不适用了。

针对这种情况,Austin 等(1981)和 Smith 等(1981)提出一种迭代方法,通过与其他通道的关系模拟 670nm 波段在清水时的数据,再按清洁水法进行大气纠正。对不具备迭代条件的宽波段数据,如 NOAA/AVHRR、LANDSAT/TM (MSS) 等,曾发表过诸如减去最低值(Johnson,1975)、应用经验公式(Munday *et al*, 1975)、利用 MSS7 波段(MacFarlane *et al*, 1984)、利用 AVHRR/CH2 波段(Stumpf *et al*, 1989)等应用方案。但是这些方案在同步实测数据校正、区域与时间限制及适用范围等方面仍难满足悬浮泥沙遥感长序列产品要求。

根据海面-遥感器间光谱反射率斜率线性传递现象提出的考虑浑浊二类水体大气校正的悬浮泥沙遥感算法——斜率法(Li *et al*, 1998b; 李炎等,1999),在摆脱现场定标限制、区域与时间适应性以及量程范围等方面,形成了悬浮泥沙遥感长序列产品开发和研究的基础。

1.1 海面与遥感光谱反射率的联系

斜率法实现大气纠正的基本思路是:对于单波段来说,由于大气的作用,遥感器接收到的反射率与海面实际反射率不同,但对于两个不同波段反射率关系曲线之斜率,从海面到遥感器的传递,符合线性传递的规律。因此,可以通过这种斜率之间的联系,将遥感器两个波段反射率关系曲线之斜率转换为海面实际的反射率关系曲线之斜率,从而实现包括二类水体在内的大气纠正。

传感器探测到的 λ 波段反射率 R_λ 可表示为(Viollier *et al*, 1980; Li *et al*, 1998a):

$$R_\lambda = (R_{r\lambda} + R_{a\lambda} + t_{d1} R_{w\lambda}) t_{oz\lambda} \quad (1)$$

其中 $R_{r\lambda}$ 是 Rayleigh 散射的贡献; $R_{a\lambda}$ 为气溶胶散射的贡献; $R_{w\lambda}$ 为水面光谱反射率; $t_{oz\lambda}$ 为双程的臭氧透过率; $t_{d\lambda}$ 双程漫透过率。在遥感目标的邻域求式(1)对空间位移 r 的一阶微分:

$$\begin{aligned} dR_\lambda/dr = & t_{oz\lambda} dR_{r\lambda}/dr + t_{oz\lambda} dR_{a\lambda}/dr + (R_{r\lambda} + R_{a\lambda} + t_{d\lambda} R_{w\lambda}) dt_{oz\lambda}/dr + t_{oz\lambda} R_{w\lambda} dt_{d\lambda}/dr + \\ & t_{oz\lambda} t_{d\lambda} dR_{w\lambda}/dr \end{aligned} \quad (2)$$

理论上或高精度要求下,(2)式右边各项均不为 0,不具备简化的条件。但在悬浮泥沙浓度水平梯度很大的河口海岸和毗邻海域,取决于大气物质分布的 R_r 、 R_a 、 t_d 、 t_{oz} 等因子,空间变化速率很小,而受水体物质分布制约的离水反射率 R_w 空间变化速率很大,以至在(2)式右边最后的 $t_{oz\lambda} t_{d\lambda} dR_{w\lambda}/dr$ 项远高于其他一阶微分项。在该类海区的实际应用中,(2)式可以有条件地简化为:

$$dR_\lambda/dr \approx t_{oz\lambda} t_{d\lambda} dR_{w\lambda}/dr \quad (3)$$

选择水体中悬浮泥沙对离水反射率的贡献远大于黄色物质和叶绿素贡献的红光和近红外波段,由(3)式得到:

$$dR_1/dr \approx t_{oz1} t_{d1} dR_{w1}/dr$$

$$dR_2/dr \approx t_{oz2} t_{d2} dR_{w2}/dr \quad (4)$$

据参数方程微分法则:

$$dR_2/dR_1 \approx (t_{d2}/t_{d1})(t_{oz2}/t_{oz1}) dR_{w2}/dR_{w1} \quad (5)$$

说明在河口海岸和毗邻海域,以及红光和近红外波段等特定条件下,从海面 R_{w1} - R_{w2} 曲线到遥感器 R_1 - R_2 曲线,斜率的传递是线性的,传递的比例因子 $(t_{d2}/t_{d1})(t_{oz2}/t_{oz1})$ 取决于该两个波段的大气透射率(包括漫透射率和臭氧层吸收率)比值。根据理想大气透射率计算结果,正午前后无云条件下,黄红光波段和近红外波段的漫透射率比值略小于 1,臭氧层吸收率比值接近 1,相对误差小于 10%。从近似应用角度,将大气透过率比值取 1,则(5)式可简化为:

$$dR_2/dR_1 \approx dR_{w2}/dR_{w1} \quad (6)$$

1.2 悬浮泥沙与海面光谱反射率的联系

根据海面离水反射率与水体固有光学参数关系,并针对中国近岸水域特定的悬浮泥沙固有光学性质,李炎等(1999)推导出遥感水层悬浮泥沙浓度 S 与 AVHRR/CH1 波段反射率(R_1)和 CH2 波段反射率(R_2)关系曲线之斜率 α 的理论表达式,并提出简单的实用计算公式:

$$S = 62.59\alpha - 4.6772 \quad (\alpha < 2.0, r^2 = 0.999) \quad (7)$$

$$S = 55.257 \exp(0.4038\alpha) \quad (\alpha > 2.0, r^2 = 0.997)$$

2 图象处理

用斜率法建立珠江口长时间序列遥感数据集,首先需要针对相对复杂的水体性质建立相对稳定的悬浮泥沙信息提取方法。目前有两种实施方法:回归法与极值法。两种方法的关键都在于如何求取关系曲线之斜率 α 。回归法在悬浮泥沙性质比较均一的杭州湾及长江口海域,已取得了比较理想的结果。但是在珠江口,由于其水体类型复杂,这一实施方法遇到了比较大的困难,计算不稳定,偏差比较大。在不具备对不同类型水体预先分类,采用与之适应的光学参数之前,改用比较稳定的极值法实施。

2.1 极值法方案

极值法通过间接途径求取斜率 α (Li *et al.*, 1998b; 李炎等, 1999)。由斜率 α 的定义有:

$$\alpha - dR_2/dR_1 = 0 \quad (8)$$

$$\text{当 } \alpha = \alpha_i \text{ 时} \quad d(\alpha_i R_1 - R_2)/dR_1 = 0 \quad (9)$$

(9)式为曲线 $\alpha_i R_1 - R_2$ 的极值判定式。由于 $d^2(\alpha_i R_1 - R_2)/dR_1^2 < 0$, $d^3(\alpha_i R_1 - R_2)/dR_1^3 < 0$ 判定该极值为最大值,故可以把求 α 转化为求曲线 $\alpha_i R_1 - R_2$ 的最大值,即 $R_1 - R_2$ 关系曲线斜率 α 的分布,与曲线 $\alpha_i R_1 - R_2$ 的最大值分布等效。因此逐级选定 α_i 值(如 0.02, 0.04, 0.06...步长 0.02 的等差序列),圈出相应的 $\alpha_i R_1 - R_2$ 最大值分布范围,即斜率等于 α_i 的分布范围。具体实施过程是:

1) 确定斜率参数值:参数值包括最小斜率,最大斜率,斜率步长, R_1 跳跃步长, R_1 累积步长。最小斜率与最大斜率根据研究海域的实际情况确定。 R_1 跳跃步长与累积步长用于限制寻找斜率与 R_1 数据关系时可能出现的波动,这种波动主要是由于统计误差引起。在同一海域,参数保持比较好的稳定性,才能说明算法的可靠性。珠江口资料全部采

用了统一的参数。同时,对不同水体特点的海域,又可采用不同的参数,从而通过参数的调整增强算法的区域适应性。

2) 建立斜率-灰度数据表:对于每一个指定的斜率值,在规定大小的空间局域内总可以找到一个对应的 R_1 值使 $\alpha_i R_1 - R_2$ 最大。所有的局域统计起来,将出现频率最大的 R_1 值作为该指定斜率对应的 R_1 值,并且在 R_1 跳跃步长与 R_1 累积步长的辅助下,建立完整的 $\alpha_i - R_1$ 关系表。

3) 由斜率图得到悬浮泥沙浓度图:根据(7)式,求得表层悬浮泥沙浓度。

极值法的局限性主要表现在高端(指定的 α_i 值较高时)控制问题。可以这样认为,每一个 R_1 值都是一个 $\alpha_i - R_1$ 表控制条件。因此,低端(对应低 R_1 值)由于上面有多个控制点,其对应的斜率不会无限上升,但是随着设定的常数 α_i 的升高(对应 R_1 值升高),控制点减少,最后一个选择(往往是 R_1 、 R_2 值最大的那一点)所对应的 α 上限点的控制,从而出现不确定的 α 值。因此,实际操作中去掉最高点,把所得到的 $\alpha_i - R_1$ 关系表中最后一组去掉。此外,当块内有薄云干扰时,找到的极值点可能偏差比较大。

2.2 处理流程

首先对 NOAA/AVHRR CH1、CH2 数据进行几何与辐射纠正、数据格式转换,这一部分由香港科技大学遥感卫星地面站的 XUV 软件模块实现。接着进行去云处理与去陆处理,最后用极值法提取悬浮泥沙浓度信息,后两部分由基于 VC++6.0 平台开发的软件模块实现。悬浮泥沙浓度探测结果以固定地理坐标的图象格式输出,形成长序列悬浮泥沙遥感数据集。在遥感数据集基础上再进行长序列悬浮泥沙遥感数据统计处理。

3 1995—2000 年珠江口悬浮泥沙遥感数据集

根据以上方法与流程,作者处理了 1995—2000 年共 5 年多的 NOAA 系列卫星资料,初步建立了具有 152 个时相记录的珠江口悬浮泥沙遥感数据集(时间分布见表 1,成像时间为 14—15h)。整个处理过程中,算法表现出了良好的稳定性。

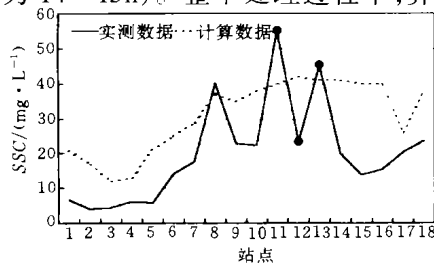


图 1 珠江口纵剖面悬浮泥沙浓度(SSC)遥感数据与走航采样实测数据的比较

(1996 年 12 月 14 日,

图中的圆点表示同步数据)

Fig.1 Comparison of remote sensing derived suspended sediment concentration (SSC) with sea truth data (circle points) collected from a transect of the Zhujiang River estuary on December 14, 1996

抽取 1996 年 12 月 14 日的悬浮泥沙浓度遥感数据与已有的走航采样实测数据进行比较(图 1)。卫星成像时间为 13:50, 实测数据是 10:00—16:00 的走航表层采样结果,图中的圆点表示采样时间与成像时间接近的站位,受潮锋的影响,表层悬浮泥沙浓度的空间分布出现高频波动。遥感数据与实测数据趋势相近,近同步点的最大误差小于 50%。由于遥感数据的平面分辨率为 1km,所探测的悬浮泥沙浓度为遥感透射水层的加权平均值,相对采样体积为 0.5dm^3 的表层水样,已经过区域和水层的平滑作用,因此波动不如实测数据那么大。

从数据集提供的连续空间(瞬时大面记录)、连续时间(长时间序列)信息上,作者观察到珠江口水、冲淡水、沿岸水、上升流和陆架水及其水系界面的变动,如夏半年密度较大而悬浮泥沙浓度低的外海水沿河口主

槽呈“Λ”型楔入内伶仃洋等半封闭海域(图版 I:a)。该数据集还有效显示了珠江口表层悬浮泥沙浓度高值区的季节性变动。冬半年珠江口河口悬浮泥沙浓度高值区明显西偏,粤东沿岸流形成的悬浮泥沙浓度相对高值带沿锋面向西移动,部分被东向的南海暖流挟卷到外陆架(图版 I:b);夏半年在珠江口河口出现南向和东南向的浑水舌,直接将河口的悬浮泥沙带到万山群岛以外的陆架,仅部分河口悬浮泥沙浓度高值区沿岸西移(图版 I:c)。

表 1 珠江口悬浮泥沙遥感数据集成像时间分布

Tab.1 Temporal distribution of SSC images of Zhujiang River estuary

月份	季节	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	合计
1	枯季	1	2	3	3	4	4	17
2	枯季	2	2	1	1	3	3	12
3	枯季	2	3	2	3	0	/	10
4	洪季	1	2	1	2	3	/	9
5	洪季	0	2	1	1	1	/	5
6	洪季	2	1	0	1	6	/	10
7	洪季	0	0	2	5	0	/	7
8	洪季	2	1	0	3	0	/	6
9	洪季	1	3	3	2	1	/	10
10	枯季	2	5	3	4	3	/	17
11	枯季	6	4	7	7	0	/	24
12	枯季	9	5	2	6	3	/	25
合计		28	30	25	38	24	7	152

4 珠江口表层悬浮泥沙浓度统计规律

以往很多遥感数据处理与应用往往只是对有限的几张图象进行分析,很少能够获得这样的连续长时间序列结果。单时相遥感数据毕竟只是表现一个瞬时泥沙运动、分布状况,并不能完全代表当前海域的泥沙场特点。因此,根据处理得到的 1995—2000 年悬浮泥沙遥感数据集,作者进行了初步的统计处理。应用遥感数据对珠江口的泥沙场的时空分布进行一定的分析,从中比较它与传统方法得出的结果的异同。作者主要做了特征累积频率悬浮泥沙浓度统计(图版 I:d—f)以及悬浮泥沙浓度均值与均方差统计(图版 II)。

4.1 多年分布规律

数据集的 50% 累积频率悬浮泥沙浓度分布图(图版 I:e)与多年平均统计图(图版 II:a)说明,八大口门的河口浅滩是悬浮泥沙浓度的高值区,最大浑浊带出现在河口浅滩的前缘,如内伶仃洋中蕉门到淇澳岛一线。数据集的方差图(图版 II:d)说明,内伶仃洋中部悬浮泥沙浓度变动最大,磨刀门外的高方差区域则延伸方向多变。

4.2 季节分布规律

悬浮泥沙遥感数据集的统计表明,珠江口的悬浮泥沙浓度随着径流、潮流的相互关系

的变动发生季节变化,洪枯季有明显差别。

枯季,内伶仃洋泥沙自西向东呈现明显的高一低一高条带状分布。高值分布在东滩、中滩和西滩三个浅滩,低值集中在伶仃水道及矾石水道(图版 II:c)。从方差上看,以横门以南西滩部分悬浮泥沙浓度变化幅度最大(图版 II:f)。控制悬浮泥沙浓度高值分布的原因,一是主要口门仍有一定的径流输沙;二是浅滩泥沙的再悬浮;三是锋面的辐聚作用。西滩水浅,冬季潮汐作用增强,与底部磨擦作用增大,引起泥沙再悬浮,此外冬季盛行东北风强劲,波浪作用增强,也加大了底部磨擦掀沙作用。西滩前缘潮锋发育,也促使泥沙沿锋面辐聚和传输。

洪季,径流作用强,潮汐作用相对较弱。伶仃洋泥沙浓度分布东西差异相对较小(图版 II:b)。内伶仃岛-淇澳岛一线以北,横门以南悬浮泥沙浓度变化幅度最大,此外磨刀门口外的悬沙浓度变化也比较大,并且由于磨刀门海域不象伶仃洋受半封闭地形控制,扩散范围最不稳定(图版 II:e)。从累积频率上看,高值出现在西滩淇澳岛周围、以及东滩,中间为伶仃水道隔开。内伶仃洋四口门(虎门、蕉门、洪奇沥、横门)均有一呈指状的冲出高浊水。其中西滩淇澳岛附近,以及伶仃水道及矾石水道与虎门交汇处,存在两个显著的高值聚集区,可能分别对应西滩最大浑浊带与虎门最大浑浊带。西滩悬沙浓度始终比其他海域高(图版 I:f)。

5 结语

珠江口 1995—2000 年悬浮泥沙遥感数据集的构建与统计分析结果说明,应用斜率法进行悬浮泥沙遥感具有较理想的稳定性,是在我国海域建立长序列悬浮泥沙遥感数据集,开展大尺度长周期悬浮泥沙分布规律研究的重要技术支撑。

需要改进的方面是,在斜率法实现大气纠正与水下光学特征一体化解决过程中,作者仅采用波段选择方式避开叶绿素、黄色物质等因素的影响,这种方式在水体叶绿素、黄色物质空间变化高频成分比较大的珠江口河口锋面附近遇到了一些困难。因此,要进一步改进算法以提高其适应性,以后的工作还要注意到多因素的相互影响。

致谢 陈介中教授、潘德炉研究员、李静华老师在项目组织实施过程中给予大力支持,北京大学李京教授和杨巨杰同学在发展斜率法软件过程中给予了热情的帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 李 京,1987. 利用 NOAA 卫星的 AVHRR 数据测杭州湾海域的悬浮泥沙含量. 海洋学报,9(1):132—136
- 李 炎,李 京,1999. 基于海面-遥感器光谱反射率斜率传递现象的悬浮泥沙遥感算法. 科学通报,44(17):1892—1897
- 潘德炉,李淑青,毛天明,1997. 卫星海洋水色遥感的辐射模式研究. 海洋与湖沼,28(6):652—658
- 孙效功,方明,黄伟,2000. 黄、东海陆架区悬浮体运输的时空变化规律. 海洋与湖沼,31(6):581—387
- Austin R W, Petzold T J, 1981. The determination of the diffuse attenuation coefficient of sea-water using the Coastal Zone Colour Scanner. In: Gower J F R ed. Oceanography from Space. New York: Plenum Press, 239—256
- Gordon H R, Brown O B, 1973. Irradiance reflectivity of a flat ocean as a function of its optical properties. Applied Optics, 12: 1549—1551
- Gordon H R, 1978. Remove of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. Applied Optics, 17 (10):1631—1636

- Gordon H R, Morel A Y, 1983. Remote Assessment of Ocean Color for interpretation of satellite visible imagery. A review. Springer-Verlag, New York, 1—181
- Holyer R J, 1978. Towards universal multispectral suspended sediment algorithms. *Remote Sens Environ*, 7:323—338
- Johnson 1975. Quantitative sediment mapping from remotely sensed multispectral data, in *Remote Sensing of Earth Resources*. The University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, Tn, Vol. IV, 565—576
- Li Yan, Li Jing, Su Jilan *et al*, 1992. Study on fluctuations of plume front and turbidity maximum in the Hangzhou Bay by remote sensing data. *Acta Oceanologica Sinica*, 12(1):51—62
- Li Yan, Wei Huang, Ming Fang, 1998a. An algorithm for the retrieval of suspended sediment in coastal waters of China from AVHRR data. *Continental Shelf Research*, 18:487—500
- Li Yan, Li Jing, 1998b. Maximum aR_1-R_2 , the point for removal atmospheric effects from satellite imagery of the coast ocean. *Proceedings of PORSEC '98-Qingdao*, 1:586—590
- Macfarlane N, Robinson I S, 1984. Atmospheric correction of Landsat MSS data for a multirate suspended sediment algorithm. *Int J R S S*, 5:561—576
- Munday J C Jr, Alfoldi T T, 1975. Chromaticity changes from isoluminous techniques used to enhance multispectral remote sensing data. *R S E*, 4:221—236
- Smith R C, Baker K S, 1981. Optical properties of the clearest natural waters(200—800nm). *Appl Opt*, 20:177—184
- Smith R C, Wilson W H, 1981. Ship and satellite bio-optical research in California Bight. In: Gower J F R ed. *Oceanography from Space*. 281—294
- Stumpf R P, Penneck J R, 1989. Calibration of a general optical equation for remote sensing of suspended sediments in a moderately turbid estuary. *J Geophys Res*, 94:14 363—14 371
- Viollier M, Tanre D, Deschamps P Y, 1980. An algorithm for remote sensing of water color from space. *Boundary-layer Meteorology*, 18:247—267

DATA COLLECTION OF REMOTE SENSING DERIVED SUSPENDED SEDIMENT CONCENTRATION IN ZHUJIANG RIVER ESTUARY

DENG Ming, HUANG Wei[†], LI Yan

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration: IOPSO, Hangzhou, 310012)

[†](CCAR, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong)

Abstract The algorithm of gradient, a remote sensing algorithm to retrieve suspended sediment concentration from reflectance of NOAA/AVHRR channel 1 (580—690nm) and channel 2 (720—1100nm), removing the atmosphere effect on the basis of the observaion that the gradient for the local correlation curve between such two channels presents a linear response from water-leaving to satellite-detected records, is successfully applied for the Zhujiang River estuary to derive a suspended sediment concentration data collection. At present 152 resulting images from 1995 to 2000 have been included in this collection.

Using this collection analyses of distribution and fluctuation patterns of suspended sediment concentration in the Pearl River estuary and adjacent sea areas is undertaken. The accumulative frequency was used to assess the historic distribution of suspended sediment concentration for each pixel, by picking up the suspended sediment concentration at the accumulate frequency of 5%, 50% and 95%, respectively. The image of suspended sediment concentration at accumulative frequency of 50%, the median of the historic records, is regarded as a tendency reflecting normal situations. The image of suspended sediment concentrations at the accumulative frequency of 5% is considered as the baseline of the

historic records, and the image for the suspended sediment concentration at accumulative frequency of 95% reflects the effect of episodic events such as incidence of typhoons. Mean and dispersion deviation were chosen to analyze general views and its variability for such long time series pixel by pixel, with groups covering the whole period or different seasons.

Key words Remote sensing, Suspended sediment concentration, Time series, Zhujiang River estuary

图版说明

图版 I

a. 1999 年 6 月 13 日 07:33GMT; b. 1995 年 12 月 12 日 05:37GMT; c. 1997 年 7 月 28 日 06:41GMT; d. 多年累积频率 5% 的浓度分布; e. 多年累积频率 50% 的浓度分布; f. 多年累积频率 95% 的浓度分布

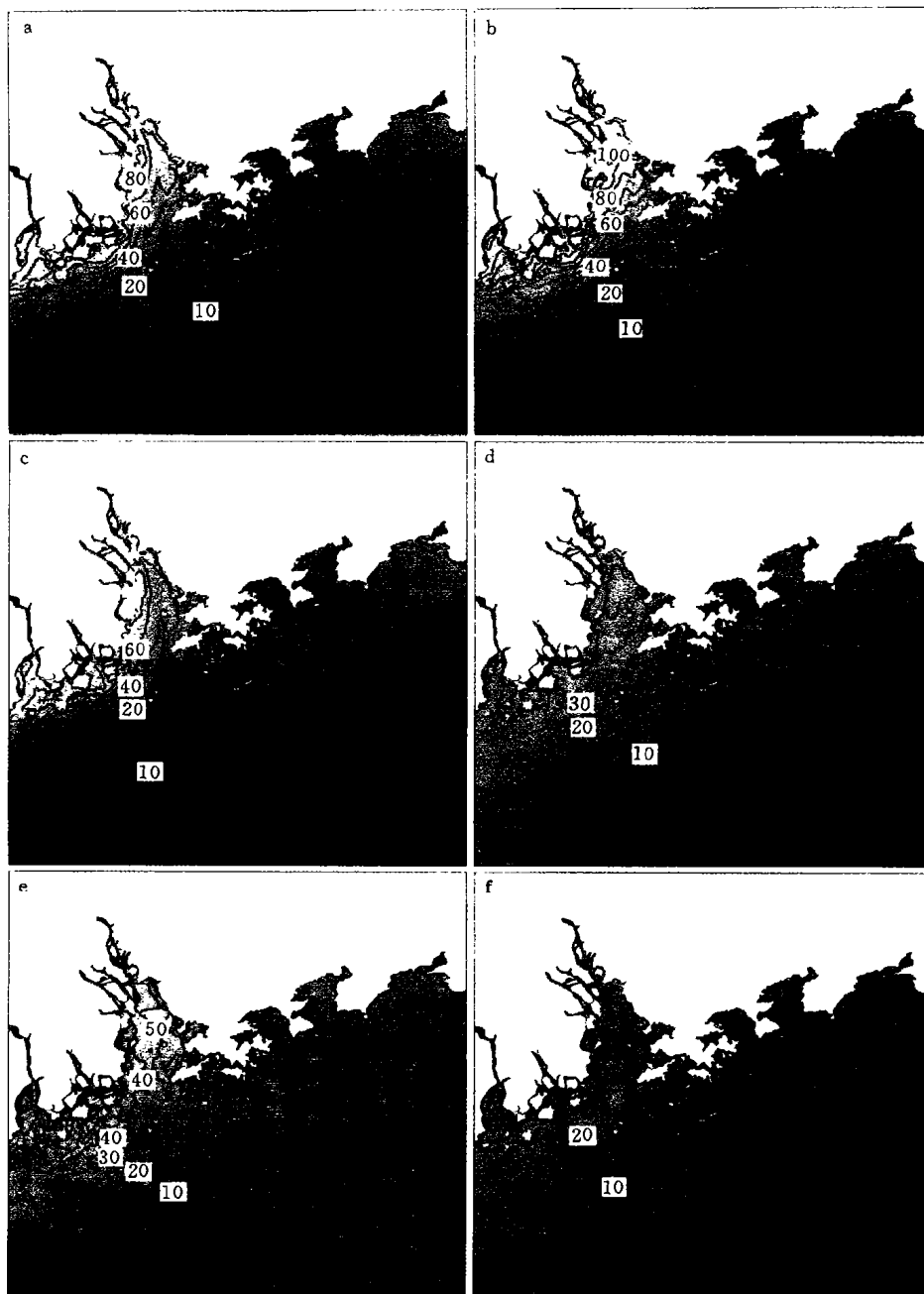
图版 II

a. 多年总平均; b. 多年洪季平均; c. 多年枯季平均; d. 多年均方差; e. 多年洪季均方差; f. 多年枯季均方差



图版 I 珠江口悬浮泥沙遥感数据集图象个例和特征累积频率浓度(mg/L)

Plate I Samples of SSC images and SSC distribution for certain cumulative frequency (mg/L) in the remote sensing data collection of Zhujiang River estuary



图版 I 珠江口悬浮泥沙浓度统计(mg/L)

Plate I Statistical results(mg/L) for SSC in Zhujiang River estuary