

闽江入海口悬浮泥沙浓度变化监测研究

蔡诗柔 陈 平 陈伟强 郑晓洁 杨立娟

闽江学院 测绘工程系 福建福州 350108

摘 要: 对入海口附近水域悬浮泥沙浓度的时空变化进行有效监测具有重要意义。本研究以闽江入海口为研究区, 利用2014和2021年的Landsat 8 OLI-TIRS卫星遥感影像, 分析闽江入海口的悬浮泥沙浓度变化趋势。采用“斜率法”分别获取闽江入海口的水体悬浮泥沙浓度, 并通过等级分布图对2014和2021年闽江入海口水体的悬浮泥沙浓度进行时间和空间上的动态监测。研究结果表明, 2014-2021年闽江入海口区域悬浮泥沙浓度含量在180~240 mg/L范围的面积增加了160.7 535 km²; 浓度在240~300 mg/L之间的面积增加了29.5 965 km²; 而浓度在300~500mg/L范围的面积仅增加了1.2 976 km²。本研究可为闽江入海口海域水质检测与发展规划提供科学依据。

关键词: 闽江入海口; Landsat8影像; 悬浮泥沙浓度; 斜率法; 动态监测

Monitoring the Changes of Suspended Matter in the Min River Estuary for the Past 8 Years Based on Remote Sensing Images

Cai Shirou, Chen Ping, Chen Weiqiang, Zheng Xiaojie, Yang Lijuan

Department of Surveying and Mapping Engineering, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108, China

Abstract: It is important to effectively monitor the temporal and spatial variation of suspended matter concentration in the waters near the estuary. In this study, we used Landsat 8 OLI-TIRS satellite remote sensing images for the years 2014, 2015, 2017 and 2021 to analyse the trends of suspended matter concentrations in the Minjiang River estuary in the past eight years. The slope method was used to obtain the suspended sediment concentrations in the Minjiang estuary, and the spatial and temporal dynamics of suspended sediment concentrations in the Minjiang estuary from 2014 to 2021 were monitored by the rank distribution map. The results of the study show that from 2014 to 2021, the area of the Minjiang estuary with suspended matter concentrations in the range of 180-240 mg/L increased by 160.7 535 km², the area with concentrations of 240-300 mg/L increased by 29.5 965 km² and the area with concentrations of 300-500 mg/L increased by 1.2 976 km². This study can provide a scientific basis for water quality testing and development planning in the Minjiang River estuary.

Keywords: Minjiang estuary; Landsat8 image; Suspended solids concentration; Slope method; Dynamic monitoring

基金项目: 闽江学院“校长基金”项目(编号: 103952021028)。

引言

海洋水体里的悬浮泥沙浓度(SSC)是海洋环境监测的重要指标^[1], 可作为污染物的示踪剂, 其浓度的多少直接影响水体透明度, 从而影响水中生物对太阳光的利用, 最终影响海洋生态环境。传统的水质监测主要通过实地采样测量, 此类方法不仅成本高耗时长且覆盖范围小。利用遥感手段能够较好的避免以上问题, 目前该手段已成为当前海洋环境监测的重要手段。海洋水体中所含的不同种类不同浓度物质的形成不同的光谱特征信息, 利用遥感手段监测则通过获取一定波长范围内水体吸收和散射太阳辐射能所形成的光谱特征并对其进行分析和总结来实现的^[2]。

近年来国内外也有许多学者利用遥感手段对水体悬浮物展开研究。早在上世纪70年代初, 继Landsat-1发射成功后, Klemas^[3]等人就提出了利用MSS数据估算Delawane Bay海湾的SS含量的统计模型; 李炎等^[4]建立了基于NOAA/AVHRR资料获取悬浮泥沙含量的模型; 朱小鸽等在应用遥感影像手段的基础上, 运用“斜率法”和“对比法”监测25年内珠江口海域的水质变化情况。

基于此, 本研究以Landsat 8遥感影像为主要数据, 以福建闽江入海口为研究区, 利用历史遥感影像获得目标水体的光谱特征, 统计分析闽江入海口海域水体反射率光谱和悬浮泥沙浓度之间的关系, 并建立统计回归模型, 进而

反演闽江入海口海域悬浮泥沙浓度，以此来反映和分析该区域近8年悬浮泥沙浓度变化情况，为闽江入海口海域环境治理与发展规划提供科学依据。

一、研究区和数据预处理

(一) 研究区概况

闽江是福建省最大的河流，全长562km，流域面积60992km²，穿过沿海山脉折向东北流出琅岐岛注入东海。闽江入海口琅岐岛位于福建省福州市马尾区，西、北、南三面临江，东面濒海，如图1所示。岛屿面积95.9km²，滩涂面积占20.64%，平原和丘陵分别占36.3%和31.3%。由于闽江泥沙沉积于此，琅岐岛不断向外扩张。



图1 研究区的地理位置

(二) 数据来源和预处理

本研究遥感影像来源于Landsat 8 OLI_TIRS传感器，选择2014和2021年2个时相对闽江入海口近8年悬浮泥沙变化进行研究监测。依据历年降水量和年气候的统计分析，福州市的雨季主要在3-9月，而10-2月为旱季，旱季海水受径流携沙影响较小，故此旱季的遥感影像进行分析。具体影像成像时间分别为2014年1月27日和2021年1月30日（为描述简练，下文所指时间均用年份代替）。

由于入海口的悬浮泥沙浓度含量较高，其水体的反射率与纯水的反射率有明显的不同，且水体后向散射受到水体自身和其所含悬浮泥沙质以及黄色物质的影响，只有在水体本身和黄色物质吸收都很小的时候，才能获得较为良好的悬浮泥沙浓度，本研究选择红光波段和近红外波段的反射率进一步获取悬浮泥沙浓度含量，本实验所有影像预处理过程均在ENVI中完成。由于本研究主要对闽江入海口悬浮泥沙浓度进行分析，故基于MNDWI指数对闽江流域福州段的水体进行提取。

二、实验研究

(一) 悬浮浓度的标定

本研究采用李炎等提出的以海面-遥感器的光谱反射率

斜率传递现象为基础的斜率法对悬浮泥沙浓度进行标定，具体过程如下：

首先，基于目视法对Landsat8 OTL影像随机选取采样点来进行闽江入海口流域水体特征信息的提取。在水体专题图中，确定红光波段和近红外波段反射率的关系曲线，并获得二者的回归方程如下所示：

$$B5 = a \times (B4)^2 + b \times (B4) + c \quad (1)$$

式中，B5表示Landsat8 OLI第五波段反射率，B4表示Landsat8 OLI第四波段反射率，a、b、c为方程中的系数，具体数值如下（表1）：

表1 Band 4和Band 5波段的关系曲线的系数取值

年份	a	b	c	R2
2014年	0.003	-4.511	1 964.1	0.695
2021年	0.003	-5.139	1 903.8	0.834

对公式1求导可得：

$$\frac{d(B5)}{d(B4)} = 2a \times (B4) + b \quad (2)$$

由海面反射率标准关系曲线斜率与水体悬浮泥沙浓度关系曲线，AVRHH CH1、CH2的悬浮泥沙计算公式为：

$$\alpha < 2, \quad SSC = 62.59\alpha - 4.6772 \quad R^2 = 0.999 \quad (3)$$

$$\alpha > 2, \quad SSC = 55.257 \exp(0.408\alpha) \quad R^2 = 0.997 \quad (4)$$

式中，SSC指悬浮泥沙浓度，单位（mg/L）；系数α可由以下公式求出：

$$\alpha = \frac{d(AVHRR \ CH2)}{d(AVHRR \ CH1)} \quad (5)$$

根据Stumff的研究，AVHRR两波段与TM/ETM+两波段存在以下关系（式6）。由于本研究使用的是OLI传感器的遥感光谱数据，OLI包括了TM/ETM+传感器所有的波段，且OLI与TM/ETM+传感器各波段差值的标准偏差均小于±0.06，故本研究OLI光谱数据等同于TM/ETM+：

$$\frac{d(AVHRR \ CH2)}{d(AVHRR \ CH1)} = 1.43 \frac{d(TM/ETM + 4)}{d(TM/ETM + 3)} \quad (6)$$

综上，得到SSC与Band 4波段的线性关系为：

$$SSC = p \times (B4) - q \quad (7)$$

式中，SSC为悬浮泥沙浓度，单位（mg/L），B4表示Landsat8 OLI第四波段反射率，p、q为方程中的系数，各年

份的SSC和B4波段反射率的关系系数 p ， q 值如表2所示。

表2 SSC与Band 4波段的数据关系式的系数取值		
年份	p	q
2014年	0.483	-408.480
2021年	0.626	-464.708

(二) 密度分割

根据上述模型分别对每个年份闽江入海口区域的悬浮泥沙质浓度进行反演，为了定量对比各年悬浮泥沙浓度变化情况，采用密度分割的方法对影像进行处理。密度分割是一种将连续的单一波段的灰色图像根据一定的密度范围分割成若干等级，形成不连续的彩色图像的方法。根据得出不同年份闽江入海口区域悬浮泥沙浓度的分布情况，分7级对其进行密度分割。经过密度分割的影像不同范围的悬浮泥沙浓度被赋予了不同的颜色，突显了同一区域内水体之间悬浮泥沙浓度的差异，增强了影像的色彩，更有助于目视判读和分析该区域闽江入海口的悬浮泥沙浓度的变化。所使用的颜色为墨绿、翠绿、青、黄、橙黄、橙红、红分别7个等级，并计算出各等级的具体面积，结果如表3和表4所示。

表3 经密度分割后的2014、2021年悬浮泥沙浓度等级面积统计表

浓度等级	2014年		2021年	
	面积 (km ²)	均值 (mg/L)	面积 (km ²)	均值 (mg/L)
<0	34.68	-37.48	59.08	-64.52
0-60	120.29	35.60	22.77	23.57
60-120	98.55	85.94	13.31	91.61
120-180	65.40	146.20	35.17	158.37
180-240	5.79	191.86	166.54	211.96
240-300	0.43	266.73	30.02	252.33
300-500	0.50	410.91	1.79	490.70
汇总	325.64	68.93	328.69	143.85

观察对比2幅图和统计表，明显看出从2014年到2021年，橙色明显增多，入海口域颜色由以黄绿为主转变为以橙红为主，可知2014年到2021年闽江入海口流域的悬浮泥沙浓度大大上升。整体悬浮泥沙浓度的均值也从2014年的68.926 (mg/L) 到2021年的148.852 (mg/L)，增加了将近一倍。

三、分析与结论

研究区域密度分割图由翠绿色转为橙色，甚至出现小部分红色，明显看出入海口流域的悬浮泥沙浓度增多。主要由于上游地区的森林与地表植被的破坏，大量的表土被雨水冲刷，随着地表径流直接流入河中，沉积到入海口，造成入海口悬浮泥沙浓度的剧增。2018年琅岐两座跨海大桥的建立（长门特大桥和琅岐特大桥）在一定程度上减小了滨海滩涂的面积，影响了海域的环境自净能力。除此之外，在现代工业化、城市化的不断推进下和与日俱增的经济发展，闽江入海口区域分布着多个村镇和工业区（如亭江镇长安工业区、琅岐经济开发区、长乐金峰工业区等），是人口聚集、工业密集的区域，大量未经处理的生活污水和工业废水的排放直接加剧了入海口处悬浮泥沙浓度的上升。

本研究基于遥感影像，采用斜率法和密度分割技术有效地揭示了2014、2021年闽江流域福州段的悬浮泥沙浓度在时间和空间上的分布变化情况。根据植被覆盖前后对比，可以判断入海口流域悬浮泥沙浓度的增加主要是由于上游地区地表植被遭到破坏导致水体携带的泥沙量增多而引起的。随着近年来福州城市化的快速发展，城市工业废水和生活污水的排放量增加也是部分原因之一。

参考文献：

- [1] 刘志国, 周云轩, 蒋雪中, 等. 近岸Ⅱ类水体表层悬浮泥沙浓度遥感模式研究进展[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 6.
- [2] 周艺, 周伟奇, 王世新等. 遥感技术在内陆水体水质监测中的应用[J]. 水科学进展, 2004, 15(3): 312.
- [3] KLEMAS V, BARLETT D, PHILPOT W, et al. Coastal and Estuarine Studies with ERTS-1 and Skylab[J]. Remote Sensing of Environment, 1974, 3: 153-174.
- [4] 李炎, 李京. 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[J]. 科学通报, 1999, 44(17): 1892-1897.

通信作者：

杨立娟（1985.9—），副教授，博士，主要研究方向：信号处理、深度学习。