

# 潮滩冲淤监测方法与实时监测系统设计

赵 敏

(华东师范大学 资源与环境科学学院, 上海 200062)

**摘要:** 分析了潮滩冲淤监测的几种常见方法, 其中标志桩法、SET 和 RSET 法、沉降板法、人工示踪砂法、PEEP 和 PEEP-3T 法、ALTUS 和 ADV 法等主要测量某点或某断面上的冲淤量, 3S 技术结合地形图或海图实现了大范围潮滩面上的冲淤变化测量。借鉴海洋、海岸实时监测系统的原理和实践经验, 提出了潮滩冲淤实时监测系统的设计方案, 该系统数据采集子系统包括潮滩高程、景观图像、地物光谱、气象和水动力等因子的数据综合采集, 数据通过网络连接传输到实验室, 以实现地貌变化和驱动因素的同步获得和综合分析, 并通过地物光谱信息获取, 为遥感数据解译提供基础资料。

**关键词:** 潮滩; 冲淤; 实时; 监测系统

**中图分类号:** P731.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)04-0437-05

## Tidal Flat Erosion-deposition Observation Methods and Research of Real-time Observation System

ZHAO Min

(School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The methods to monitor the erosion-deposition of tidal flat are analyzed, and they can be classified into two groups, one is those on bed level change on a particular site and/or a profile, and the other is those on an area change. For the former, it includes marked poles, sedimentation erosion table (SET) and rod SET (RSET), sedimentation plates, artificial tracer sand, photo-electronic erosion pins (PEEP) and PEEP-3T, autonomous bed elevation monitor (ALTUS) and acoustic doppler velocimeter (ADV); For the latter, 3S technology in combination with relief maps or charts is commonly used. Based on the principle and practice of existing ocean and coastal real-time observation system, this paper provides a design plan for real-time tidal flats erosion-deposition observation system. The data collection subsystem is designed to collect the information of tidal flat bed level change, landscape image, reflectance spectroscopy as well as meteorological and hydrodynamic data. The data are transmitted into the laboratory by internet. The system can realize the synchronous acquisition of information related to geomorphic change and its driving factors in a real-time way.

**Key words:** tidal flat; erosion and deposition; real-time; observation system

## 0 引言

潮滩沉积是海陆交互作用的产物, 形成于海岸坡度平缓、有丰富的细粒泥沙供应、以潮流动力为主的低能海岸环境, 尤以河-海作用活跃的边缘海环境最为发育<sup>[1]</sup>。受泥沙供应、水动力等因子的影响, 潮滩存在不同时间尺度的侵蚀和淤积现象, 使得潮滩

处于动态的发育过程之中<sup>[2]</sup>。由于潮滩具有海岸防护、野生生物栖息地、水质净化、土地围垦、旅游等多种功能<sup>[3]</sup>, 同时沿海地区又是世界人口密集、经济发达的区域, 因此, 了解潮滩冲淤的动态变化, 既是海岸研究的基础科学问题, 也是海岸带综合管理所关注的领域之一。特别是近百年来, 由于流域大量修建水坝或调水等人类活动的影响, 世界上许多河流

收稿日期: 2008-12-28

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC01A14)

作者简介: 赵 敏(1982-), 女, 山东济宁人, 理学博士研究生, 从事环境演变与可持续发展研究。E-mail: zhaomin0616@163.com

的入海泥沙急剧减少<sup>[4]</sup>,加之全球变暖的作用,沿海地区的极端气候和水文事件有增加的趋势,使得潮滩面临着侵蚀的威胁<sup>[5]</sup>,对潮滩冲淤变化的实时、动态资料获取问题显得尤为迫切。随着研究的深入和海岸带管理的需要,目前世界上正在推进海岸带实时观测系统的设计和应用<sup>[6]</sup>。基于此,笔者在回顾已有潮滩冲淤监测方法的基础之上,提出了潮滩实时冲淤监测系统的一个初步设计方案。

## 1 冲淤监测的传统方法

### 1.1 标志桩法

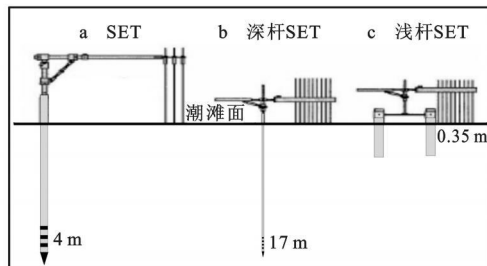
标志桩法是一种普通的观测方法,具体操作是将一标杆插入潮滩沉积物中,为确保它的稳定性,一般将其插进沉积物以下 1 m 多深<sup>[7]</sup>。设置好以后测量出露部分的长度  $M_0$ ,一般在桩的周围多次测量求平均值作为此时的值,以后每隔一定时间(根据观测要求而定)观测出露标杆的长度  $M_x$ ,  $M_0$  与  $M_x$  的差值即为在此期间的冲淤变化,正值为淤积,负值表示侵蚀。此方法操作简单易行、直观、技术要求低、经济,一条断面上可以布设几十个点,一个岸段可布多条断面,但由于标杆本身对冲淤有一定的阻碍作用,因而精度低。

为了减小标志桩测量的误差,发明了双标志桩测中间距离法<sup>[8]</sup>。该方法是在潮滩面上选择同一坡度、高程相等相距 1 m 远的两点按照上一方法设置两根标志桩,确保出露部分的长度相等,然后把一较轻的直杆横放在观测柱的上端,测量横杆的中点到滩面的距离  $M_0$ 。每隔一定时间把横杆放在观测柱的上端测量其中点距潮面的距离  $M_x$ ,  $M_0$  与  $M_x$  的差值即为在此期间的冲淤变化。该方法的优点是消除了测量柱本身体积对冲淤量的影响,但增加了在插两根测量柱时的技术要求。

### 1.2 SET 和 RSET 方法

Boumans 等<sup>[9]</sup>设计的 SET (Sedimentation-Erosion Table, 沉积—侵蚀水平面测量)是一个便携式的机械水准测量设备,用来测量松散的浅水区或潮滩的高程变化,精度达到  $\pm 1.5$  mm。该装置主要由基准管(benchmark pipe)、水平臂(horizontal arm)和测量杆(measuring rod)3 部分组成(图 1a)。为了减少对周围的干扰,在 SET 旁建一个木质平台。将基准管(直径 76~101 mm、管壁厚 1 mm 的铝管)垂直插入潮滩直到插不动为止;水平臂(120 cm 长,离潮滩面 30~70 cm 取决于水面的深度和植物的高度)只在

测量时装在基准管上,测完就取下来;在水平臂的末端有 9 个测量杆(直径 5 mm、1.52 m 长),在杆的底部固定有直径 5 cm 的垫子。测量时把 9 个杆缓慢地降到潮滩面(在有植物的地方手动把探针放在潮滩面而不是让它自动落下),测量杆的顶部到水平臂的高度。在基准管的顶部有 8 个方向的凹槽,可以把水平臂固定在 8 个方向,每次测量时可以转动 8 个方向记下每个方向上测量杆顶部到水平臂的距离,得到基准管周围的高程变化。Donald 等<sup>[10]</sup>改进了 SET 方法并改名为 RSET (Rod Surface Elevation Table),高程水平面基准杆测量。设计的基准杆(rod bench marks)可以插的很浅( $< 1$  m)或很深(直到插不动)(图 1b、c),深基准杆是直径 15 mm 的不锈钢杆,浅基准杆固定在一个四脚铝质平台上。RSET 精确度在红树林沼泽达到  $\pm 1.3$  mm,盐沼  $\pm 4.3$  mm<sup>[10]</sup>。



引自文献[10]

图 1 SET 和 RSET 方法

Fig. 1 SET and RSET Methods

### 1.3 沉降板法

沉降板法主要用来测量有植被覆盖的潮滩冲淤变化,具体操作是挖一个浅坑,将沉降板(不锈钢板、丙烯酸板或瓷板)从浅坑水平插入潮滩面下(大约 30 cm 以下)并固定,在板附近插一个棒作为标识。等浅坑区的环境恢复后,测量沉降板距潮滩面的高度,在板的不同位置多次测量求平均值<sup>[11]</sup>。

### 1.4 人工示踪砂法

人工示踪砂实验是研究沉积物搬运的一种方法,通过追踪示踪砂的运动方向和位置也可研究海岸冲淤变化<sup>[12]</sup>。示踪砂是人工制作的易与母质砂相区别、形态特征和动力特征与母质沉积物相似的物质。根据标识方法不同分为放射性示踪砂、中子活化示踪砂、荧光示踪砂等。具体方法是把示踪砂投放于潮滩沉积物中,通过追踪示踪砂在垂直剖面中的深度可获得沉积物的沉积速率;如果沉积物以侵蚀为主,根据示踪砂分布位置随时间的变化可得

沉积物的侵蚀程度,但不能定量地研究其侵蚀速率。潮滩上水动力作用的复杂性和示踪砂物质有一定污染,使得该方法在潮滩冲淤变化研究中有一定的局限性。

## 2 实时采集数据方法

### 2.1 PEEP 和 PEEP-3T 方法

传统方法所测量的冲淤变化都是一段时期内的总量或者平均值,具有较低的时间分辨率。随着对潮滩研究的深入,需要获得潮滩冲淤及其影响因子的实时观测数据。Lawler 发展了 PEEP 和 PEEP-3T 方法,以实时监测潮滩冲淤变化<sup>[13-14]</sup>。PEEP (Photo-Electronic Erosion Pins, 光电侵蚀管) 感应器是一个装有 10 个可见光电池的透明丙烯酸电子管,管子垂直插入潮滩面,根据光电池暴露在外面的长度,感应器产生相应的电压强度,电压值通过一定的运算法则转化成潮滩冲淤厚度,通过一个数据自动记录仪每隔 15~30 min 记录下来。这种感应器依赖于光照,无法捕捉夜间的情况。此外,由于水下光的强度减弱,得到的水下冲淤事件准确度不够。因此,在 PEEP 的基础上又发展了 PEEP-3T (3—Mark 3; T—Thermal) 感应器克服上述问题,PEEP-3T 主要应用热调谐时序控制 (Thermal Consonance Timing) 原理,即潮滩沉积物近表面的垂直温度梯度相比空气中要大的多,当潮滩发生侵蚀时,侵蚀掉沉积物的部分由空气或水占据,这个部位的温度梯度下降,由强变弱的这个过程代表了侵蚀的时段。具体设计是在电子管内放置 2 个电热调节器 (图 2),一个放在感应器的前端测沉积物表面温度,另一个放在离第一个 68 mm 远的地方测量沉积面以下的温度。当发生侵蚀时,暴露在空气或水中的电热调节器与下端调节器的热量差 (TD,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{YF} < 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 减少,产生热量调节。热量调节开始的时间记录了开始侵蚀的时

间。相反,发生堆积时,温度梯度从弱变强。

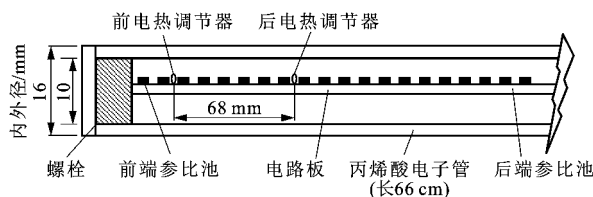
### 2.2 ALTUS 和 ADV 方法

Jestin 等<sup>[15]</sup>设计的 ALTUS 能够精确实时测量潮滩高程变化。ALTUS 是由传感器、数据存储设备、压力感应器和电源等主要设备组成,这些设备都装在一个距离潮滩面 0.2~2 m 高 (距离由水面以下深度和植物高度决定) 的一个三角架上。声波发射仪作为发射和接收器,垂直向下发射 2 MHz 声波,通过记录声波从潮滩面返回到发射器的时间求得潮滩面的高程变化。压力传感器连接测深仪,通过声波数据与压力数据的比较计算可以求得水深。如果采集几天的数据,每 2 min 记录一次高程数据,如果采集几个月的数据,大约 1 h 记录一次高程数据。ALTUS 距离潮滩面的高度不同其精确度不同。利用 ADV (Acoustic Doppler Velocimeter, 声学多普勒流速仪) 发射 10 MHz 声波的原理也可作为测量设备的一部分,来测量从声波发射器到潮滩面的距离,精度  $\pm 1\text{ mm}$ ,分辨率 0.1 mm<sup>[16]</sup>。

## 3 3S 技术的应用

标志桩法、沉降板法、SET 和 RSET 方法、人工示踪砂法、PEEP 和 PEEP-3T 法和 ALTUS 和 ADV 方法观测的是某点或某断面的冲淤变化,对于大范围潮滩的冲淤变化,一般依据不同时期的地形图或海图对比,获得潮滩冲淤变化,但这一方法受到地形图和海图测量年份、技术等因素制约。随着遥感技术和地理信息系统技术的进步,通过不同时段的遥感影像对比,借助 GIS 技术,可以快捷地获得冲淤面积和冲淤厚度等信息<sup>[17-19]</sup>。利用遥感影像计算潮滩冲淤变化关键是辨认高潮线和成像时水边线位置<sup>[20]</sup>。影像的不同波段在不同潮情条件下对水体和潮滩的敏感性存在差异,必须考虑不同潮情采用不同的波段影像提取水边线信息,在缺乏潮汐资料时可以利用实测高程剖面信息推算水边线高程值<sup>[21]</sup>。但是遥感影像对水下地形的解译,还存在较大的局限。

高程的传统测量较多地应用水准仪方法<sup>[22]</sup>,RTK (Real Time Kinematic) 技术是 GPS 实时载波相位差分的简称,能够快速得到高精度位置信息和高程信息。利用 RTK 结合水准点校正可以测量潮间带的冲淤变化 (精度 1 cm)。RTK 结合测深仪可以实现无验潮水下地形测量<sup>[23]</sup>,潮滩是周期性受到水淹没的地区,RTK 技术的应用提高了水下地形



引自文献 [14]

图2 PEEP-3T 冲淤自动感应器

Fig. 2 PEEP-3T Automatic Erosion and Deposition Monitoring Sensor

测量的精度。

## 4 潮滩冲淤观测方法发展趋势

潮滩安全研究不仅需要潮滩冲淤变化的实时数据,更重要的是根据已有资料利用模型预测潮滩的变化趋势。在潮滩冲淤变化预测研究中,除了精确的冲淤变化实时数据,还需要与此同时的气象数据和人文资料。因此,能够同时监测冲淤变化、气象数据和人文资料的实时在线系统是潮滩冲淤变化研究的趋势。目前,在线实时监测系统在海洋、海岸环境监测中得到广泛应用。其基本原理是通过现场安置的各种传感器,进行连续、自动的数据采集,并通过有线、无线网络将数据传输到实验室,以达到获取实时、连续的数据序列的目的<sup>[24]</sup>。海洋、海岸实时监测系统主要集中在水文、水动力及水质环境的监测<sup>[25-26]</sup>,关于海岸带尤其是潮滩地区冲淤变化的监测很少。笔者借鉴海洋、海岸实时监测网络的原理,提出了应用于潮滩冲淤的在线实时监测系统的设计方案。系统逻辑结构见图 3。

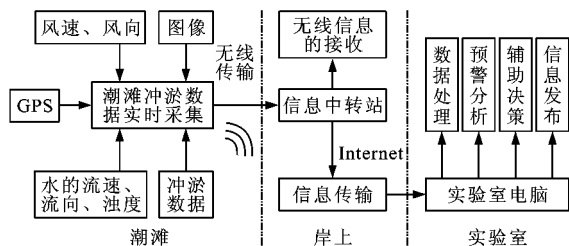


图 3 潮滩冲淤在线实时监测系统

Fig. 3 Logic Diagram of the Real-time Observation System for Tidal Flat Erosion and Deposition Monitoring

潮滩冲淤数据的采集包括冲淤变化的观测和驱动因子的数据采集,采集的数据通过无线网络传输到设置在岸上的台站,台站主要负责接收信息和数据格式转化,然后通过 Internet 将信息发送到实验室电脑上,在实验室内利用 GIS 进行数据处理,并利用 WebGIS 技术将信息共享。在整个系统中数据的实时采集是重要的组成部分,其目的是实现潮滩冲淤变化及其影响因素的同步、实时采集,并为遥感影像的解译提供基础信息(图 4)。

在数据实时采集子系统中,数据采集平台是整个系统的重要组成部分,平台上装有测距仪、地物光谱仪、图像接收设备和信号发送设备、GPS 以及太阳能接收、转化与储存工具。其中测距仪主要负责采集潮滩冲淤变化数据,地物光谱仪主要捕获

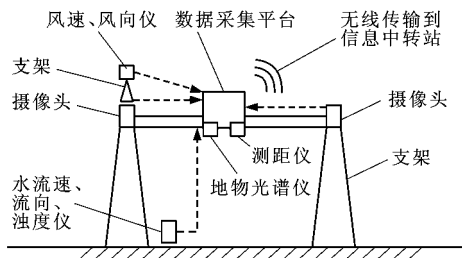


图 4 潮滩冲淤数据采集子系统

Fig. 4 Subsystem of Data Collection for Tidal Flat Erosion and Deposition Monitoring

潮滩表面的地物光谱信息,图像接收设备和信号发送设备是将采集到的数据接收并实时发送,GPS 可以确定每个采集平台的地理坐标,太阳能接收、转化与储存工具提供电力供整个系统运行,还可以根据需要通过增加数据接口监测更多的因子。安放在支架上的摄像头实时拍摄滩面的形态变化。地物光谱仪采集的地物光谱数据结合摄像头拍摄的实物信息,可为遥感数据的解译提供支撑。风速、风向仪和水流速、流向、浊度仪测量在涨落潮过程中风速、风向、流速、流向和浊度等变化信息,以获取潮滩冲淤变化的动力因子信息。上述数据按设定的时间间隔记录,并通过电缆传送到采集平台。信号发送设备负责将收集到的数据和图像信息以一定的时间间隔(一般 1 h)利用无线电波传送到设置在岸上的台站。这些设备所需的能量由太阳能转化工具提供,在有太阳辐射时将太阳能转化为电能并储存起来。

信号的传输是通过无线网络传输到岸上的台站,利用压缩软件将数据和图像打包,通过 Internet 传输到实验室中进行处理,并通过 WebGIS 实现成果共享,为潮滩冲淤预警、灾害预报等研究和管理提供基础信息和决策支持。

## 5 结语

潮滩是海洋与陆地的交界带,受到海、陆等因素的双重影响,近年来成为研究的热点,其冲淤变化是潮滩研究的基础。通过分析潮滩冲淤变化监测的几种方法,得出如下认识:

(1)标志桩法、SET 和 RSET 法、沉降板法、人工示踪砂法、PEEP 和 PEEP-3T 法、ALTUS 和 ADV 法等主要测量某点或某断面上的冲淤量,3S 技术结合地形图或海图实现了大范围潮滩面上的冲淤变化测量。

(2)借鉴海洋、海岸实时监测系统的原理,提出了用于潮滩冲淤监测的实时观测系统,该方案由数据连续、实时采集系统、数据传输和处理以及网络发布系统组成,其中数据采集系统包括潮滩地貌形态、地物光谱信息、气象和水动力等因子的数据综合采集,以实现地貌变化和驱动因素的综合分析,并通过地物光谱信息获取,为遥感数据解译提供基础资料,以实现观测站点的信息和遥感面的信息融合,为利用遥感技术准确获取潮滩冲淤信息提供技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] 王颖,朱大奎,曹桂云.潮滩沉积环境和岩相对比研究[J].沉积学报,2003,21(4):539-546.
- [2] 李恒鹏,杨桂山.长江三角洲与苏北海岸动态类型划分及侵蚀危险度研究[J].自然灾害学报,2001,10(4):20-25.
- [3] Kuipers B R, Wilde P A, Creutzberg F. Energy Flow in a Tidal Flat Ecosystem[J]. Marine Ecology Progress Series, 1981, 5: 215-221.
- [4] 杨世伦,朱骏,赵庆英.长江供沙量减少对水下三角洲发育影响的初步研究——近期证据分析和未来趋势估计[J].海洋学报,2003,25(5):83-91.
- [5] 王颖,吴小根.海平面上升与海滩侵蚀[J].地理学报,1995,50(2):117-127.
- [6] 冯筠,高峰,黄新宇.构建天地一体化的全球对地观测系统——三次国际地球观测峰会与 GEOSS[J].地球科学进展,2005,20(12):1327-1333.
- [7] Bally G, Mesnage V, Deloffre J, et al. Chemical Characterization of Porewaters in an Intertidal Mudflat of the Seine Estuary: Relationship to Erosion-deposition Cycles[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49(3): 163-173.
- [8] Quaresma V S, Bastos A C, Amos C L. Sedimentary Processes over an Intertidal Flat: a Field Investigation at Hythe Flats, Southampton Water (UK)[J]. Marine Geology, 2007, 241: 117-136.
- [9] Boumans R M J, Day J W. High Precision Measurements of Sediment Elevation in Shallow Coastal Areas Using a Sedimentation-erosion Table[J]. Estuaries, 1993, 16: 375-380.
- [10] Donald R C, James C L, Philippe H. High-precision Measurements of Wetland Sediment Elevation: I. Recent Improvements to the Sedimentation-erosion Table[J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72(5):730-733.
- [11] Allen J R L, Duffy M J. Medium-term Sedimentation on High Intertidal Mudflats and Salt Marshes in the Severn Estuary, SW Britain: the Role of Wind and Tide[J]. Marine Geology, 1998, 150(1/4): 1-27.
- [12] 贾建军,高抒,汪亚平.人工示踪砂实验的原理与进展[J].海洋通报,2000,19(2):80-89.
- [13] Lawler D M. A New Technique for the Automatic Monitoring of Erosion and Deposition Rates[J]. Water Resources Research, 1991, 27: 2125-2128.
- [14] Lawler D M. Advances in the Continuous Monitoring of Erosion and Deposition Dynamics: Developments and Applications of the New PEEP-3T System[J]. Challenges in Geomorphological Methods and Techniques, 2007, 93(1/2): 17-39.
- [15] Jestin H, Bassoullet P, Hir P, et al. Development of A LTUS, a High Frequency Acoustic Submersible Recording Altimeter to Accurately Monitor Bed Elevation and Quantify Deposition or Erosion of Sediments[C]. //Oceans 98 IEEC/OES Conference, OCEANS'98 Conference Proceedings, Nice; Oceans 98-IEEC/OES Conference, 1998: 189-194.
- [16] Andersen T J, Fredsøe J, Pejrup M. In Situ Estimation of Erosion and Deposition Thresholds by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2007, 75(3): 327-336.
- [17] Yang S L, Li H, Ysebaert T. Spatial and Temporal Variations in Sediment Grain Size in Tidal Wetland, Yangtze Delta; on the Role of Physical and Biotic Controls[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2008, 77(4): 657-671.
- [18] Fan H, Huang H J. Spatial-temporal Changes of Tidal Flats in the Huanghe River Delta Using Landsat TM/ETM+ Images[J]. Journal of Geographical Sciences, 2004, 14(3): 365-374.
- [19] Lunetta R S, Balogh M E. Integration of GPS, Remote Sensing and GIS Techniques for Coastal Resource Management[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1999, 58(11): 1571-1578.
- [20] Zhao B, Guo H Q, Yan Y, et al. A Simple Waterline Approach for Tidelands Using Multi-temporal Satellite Images: a Case Study in the Yangtze Delta[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2008, 77(1): 134-142.
- [21] 郑宗生,周云轩,蒋雪中,等.崇明东滩水边线信息提取与潮滩DEM的建立[J].遥感技术与应用,2007,22(1):35-38.
- [22] Regnaud H, Pirazzoli P A, Morvan G, et al. Impacts of Storms and Evolution of the Coastline in Western France[J]. Marine Geology, 2004, 210(1/4): 325-337.
- [23] 白征东,沈云中.应用GPS进行无验潮水下地形测量[J].同济大学学报:自然科学版,2000,28(1):37-40.
- [24] Ruberg S, Brandt S, Muzzi R, et al. A Wireless Real-time Coastal Observation Network[J]. Earth Observation Satellite, 2007, 88(28): 1-3.
- [25] Roemmich D, Owens W B. The Argo Project: Global Ocean Observations for Understanding and Prediction of Climate Variability[J]. Oceanography, 2000, 13(2): 45-50.
- [26] Vorthman R, Linn J W, Klein F. Managing IOOS Regional Association Development with Today's Systems Engineering Approach[J]. Oceans, 2006, 9: 1-5.