

# 深海风暴的原位观测

刘志飞, 张艳伟, 赵玉龙

同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

**摘要** 深海风暴是高悬浮颗粒浓度水体在深海近海底的快速运动, 能够损坏甚至摧毁一切障碍物, 改变海底地形, 影响深海底栖生态环境, 但对其发生过程和沉积记录的认识尚缺乏原位观测研究。选择南海东北部台湾岸外高屏海底峡谷堤岸, 通过布放锚系原位观测了2016年9月一次由浊流活动引发深海风暴的沉积物弥散发生过程, 发现其表现为近海底悬浮颗粒浓度快速增加, 并伴随温度升高和盐度降低。研究认为, 深海风暴的沉积物弥散是海底峡谷沉积纹层形成的主要动力过程。

**关键词** 深海风暴; 沉积纹层; 锚系原位观测; 高屏海底峡谷; 南海

风暴泛指强烈大气扰动和剧烈天气变化过程, 通常伴有强风和强降水, 如台风、龙卷风、雷暴、寒潮等, 是人们司空见惯的自然现象。但面对占据地球表面约70%的海洋, 人们早期认为深海海底一片静寂, 沉积颗粒从海面掉下去, 像雨水那样到达海底后就不再有任何运动。直到20世纪70年代, 观测发现深海底部雾状层中代表悬浮颗粒浓度的光散射指数呈数十倍突然增加, 类似于发生在大气中的风暴一样, 开始引入“深海风暴”(Benthic Storm)概念<sup>[1]</sup>, 是指高悬浮颗粒浓度水体在深海近海底的快速运动。人们难以想象, 在几千米水深的深海海底, 海水如何发生风暴活动? 那时还无法直接获得悬浮颗粒浓度, 也没有原位测量的流速, 从而成为深海探索的谜团。

深海风暴原位观测的真正开端, 是于1978—1986年实施的“高能底部边界层试验”(HEBBLE)计划<sup>[2-3]</sup>, 该计划在北大西洋约5000 m水深的深海海底进行一系列沉积过程现场观测, 发现深海风暴最大流速达15~40 cm/s, 悬浮颗粒浓度达3.5~10 mg/L, 成为深海沉积学第一次真正意义上的现场试验。尽管国际学术界随后执行了多项富有特色的深海沉积过程观测研究<sup>[4-5]</sup>, 但以深海沉积动力学为主题的大型现场长期观测却没有继续开展, 从而在很大程度上限制了人们对深海沉积过程的深入理解。南海具有开展深海沉积动力过程观测研究的独特优势<sup>[6]</sup>, 在国家自然科学基金“南海深海过程演变”重大研究计划(2011—2018)<sup>[7]</sup>的支持下, 该项研究通过在南海东北部高屏海底峡谷区域布

收稿日期: 2020-05-07; 修回日期: 2020-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(91528304, 41942046, 41876048, 41776047)

作者简介: 刘志飞, 教授, 研究方向为海洋沉积学、深海沉积动力学、环境演变与全球变化等, 电子信箱: lzhidei@tongji.edu.cn

引用格式: 刘志飞, 张艳伟, 赵玉龙. 深海风暴的原位观测[J]. 科技导报, 2020, 38(18): 26-29; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2020.18.003

放沉积动力学锚系,同时通过在锚系站位开展沉积物取芯,原位观测深海风暴的发生过程,鉴别深海风暴的沉积记录标志,以探究深海风暴发生的沉积动力学机制。

### 1 高屏海底峡谷的深海风暴观测

高屏海底峡谷位于南海东北部台湾西南岸外,起源于高屏溪口<1 km处,向南横切台湾陆架和陆坡,最终汇聚到马尼拉海沟,全程约260 km,谷底水深从100 m至约4000 m(图1)。高屏海底峡谷是高屏溪巨量沉积物(49 Mt/yr)输入南海深海的主要通道,是全球谷底地形最陡、地震和台风最为活跃、单位面积输沙量最大的海底峡谷,因而成为浊流等深海风暴频繁发生的区域<sup>[8]</sup>。根据海底峡谷大型浊流活动的模式推测,浊流主体沿陡峭谷底快速流过后,沉积物弥散能够很容易溢出到峡谷堤岸,从而呈雾状层继续向下游输运和沉积(图1)。为了防止浊流对观测锚系的破坏,选择高屏海底峡谷堤岸受浊流沉积物弥散影响的关键位置,布放沉积动力学锚系,以期原位观测受浊流活动引发深海风暴的沉积物弥散发生过程。

该锚系(TJ-G)位于峡谷下切深度最大位置的西侧堤岸,水深2104 m,装备有2套沉积物捕集器

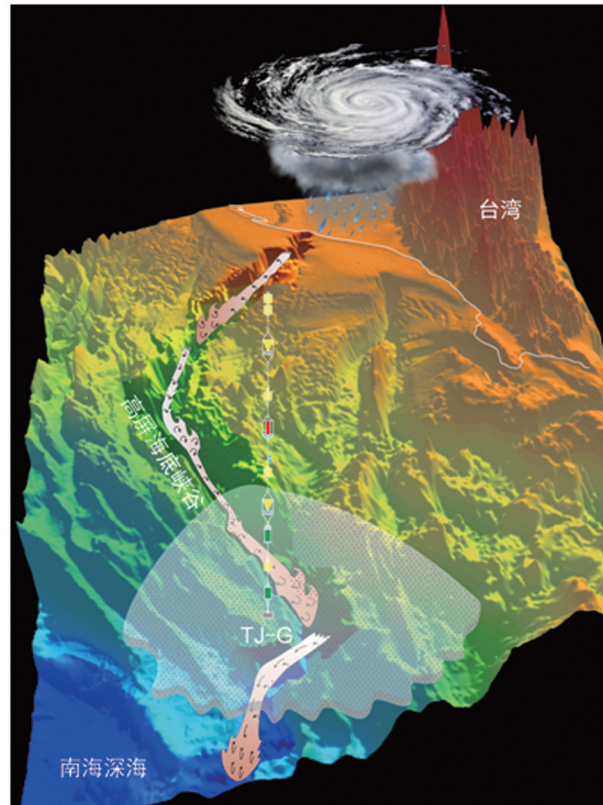


图1 高屏海底峡谷浊流成因深海风暴的示意

(Mark 78G-21)、1台多普勒流速剖面仪(ADCP-LR75)、1台温盐浊海流计(RCM)和1台温盐深度仪(CTD-Tu)(图2)。该套锚系自2013年5月开始布放并持续正常工作至今,前期研究成果已揭示

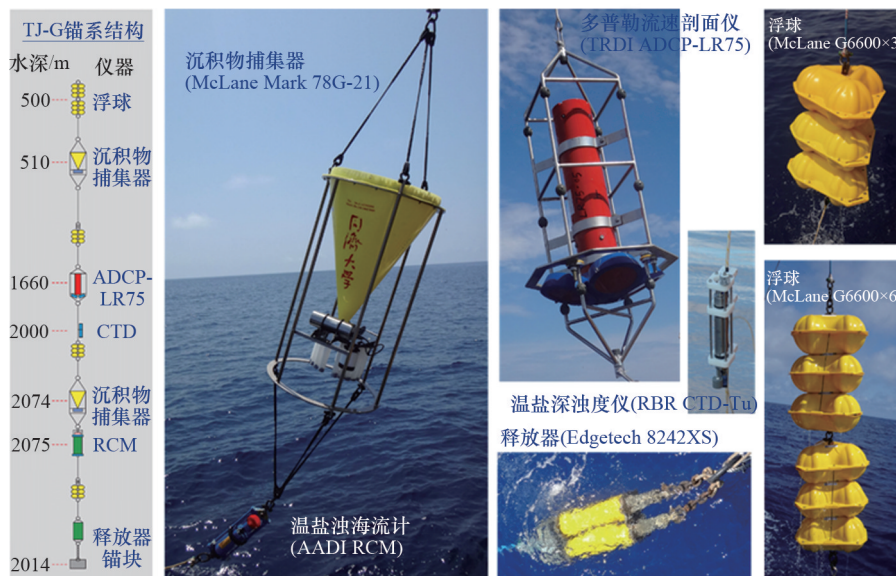


图2 深海风暴观测锚系及其设备

出高屏海底峡谷每年平均发生约6次深海浊流活动,其中4次是途经台湾的台风降雨触发,建立起海陆交互活跃型海底峡谷深海风暴与大气热带风暴的因果驱动机制<sup>[8]</sup>。

## 2 深海风暴的发生过程

观测到的高屏海底峡谷最强烈一次深海风暴发生在2016年9月(图3)<sup>[8]</sup>。距峡谷堤岸以上约30 m(水深2075 m)的悬浮颗粒浓度从2016年9月17日的1~2 mg/L快速增加,经过约24 h,在9月18日达到最高值>30 mg/L,增幅约20倍(图3(b));同时,海水温度从2.35℃经过36 h升高至2.50℃。而距堤岸以上约105 m(水深2000 m)的快速温度升高滞后约12 h,并伴随着快速盐度降低(图3(a))。观测到的峡谷堤岸以上沉积物弥散厚度约300 m,伴随着升高的温度和降低的盐度,持续至少16 d;其中,从9月17日起,底部悬浮颗粒浓度最高值区间持续约36 h(图3(c))。这些观测表明,峡谷堤岸的沉积物弥散是由下部向上部传播,考虑到高屏海底峡谷在此处的下切约500 m,则由浊流活动引发此次深海风暴的沉积物弥散总厚度约为800 m,对海底峡谷区域沉积物输运过程和机制具有重要影响。

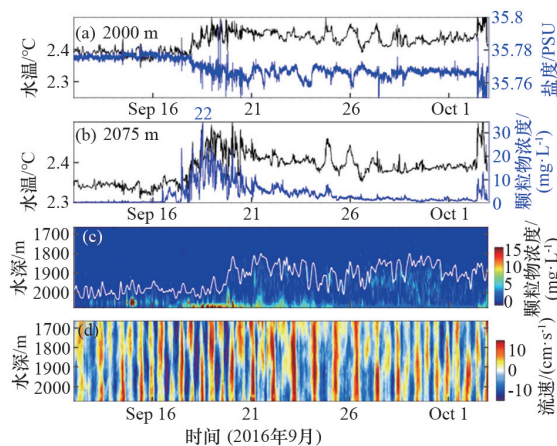


图3 高屏海底峡谷深海风暴的原位观测记录

尽管此次深海风暴的沉积物弥散具有广泛的影响,但原位观测到的深层海流却没有大幅增加。峡谷堤岸近底约400 m厚水柱的流速剖面表现出

特征的潮汐旋回性,最高流速可达20~30 cm/s(图3(d)),但去除潮汐作用的余流增加值<15 cm/s<sup>[8]</sup>。这说明堤岸上发生的沉积物弥散过程不是海底峡谷浊流的主体。

## 3 深海风暴沉积记录识别

由浊流活动引发深海风暴的沉积物弥散沉积记录,有别于典型浊流成因的鲍玛层序。中法合作HYDROSED航次于2018年在高屏海底峡谷堤岸TJ-G锚系观测位置获取的MD18-3557岩芯(水深2105 m,岩芯长22.67 m,底部年龄为10.6 ka),发现其仅发育毫米级粉砂质纹层(图4<sup>[9]</sup>中的黄色箭头位置),完全不见底部为砂砾级的鲍玛层序<sup>[9]</sup>。根据其泥质和粉砂质沉积岩性和超高的沉积速率(平均214 cm/ka),推测该锚系观测位置自全新世

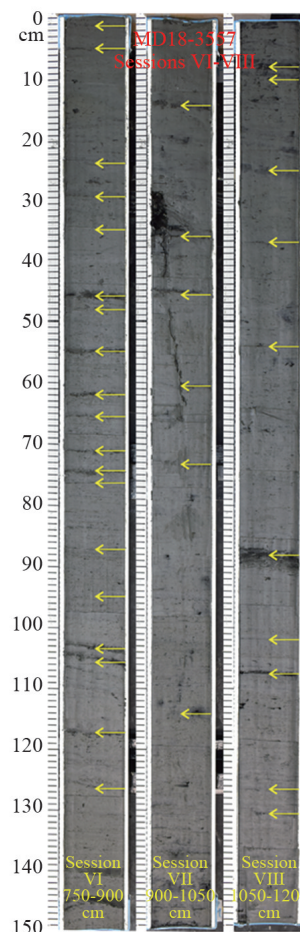


图4 高屏海底峡谷保存的深海风暴沉积物弥散层序

早期以来都是以沉积为特征的堤岸深海风暴环境, 频繁发育的沉积物弥散作用可能形成岩芯记录中的沉积纹层。尽管深海风暴沉积物弥散沉积记录的识别尚需进一步观测和模拟, 但该项研究提出的以沉积过程为主体的深海风暴记录将为探究过去深海风暴发生的沉积动力学机制提供新的思路。

## 4 结论

深海风暴的过程和机制是深海沉积动力学的重要研究内容, 是地球系统科学研究的前沿领域。在国家自然科学基金“南海深海过程演变”重大研究计划(2011—2018)的支持下, 该项研究第一次在南海深海通过锚系原位观测浊流活动引发深海风暴的沉积物弥散发生过程, 认为峡谷堤岸沉积物弥散是海底峡谷沉积纹层形成的主要动力过程, 为探究过去深海风暴发生的沉积动力学机制提供新的思路。

### 参考文献(References)

[1] Gardner W D, Sullivan L G. Benthic storms: Temporal

variability in a deep-ocean nepheloid layer[J]. *Science*, 1981, 213(4505): 329-331.

[2] Hollister C D, McCave I N. Sedimentation under deep-sea storms[J]. *Nature*, 1984, 309: 220-225.

[3] Gross T F, Williams III A J. Characterization of deep-sea storms[J]. *Marine Geology*, 1991, 99(3-4): 281-301.

[4] Xu J P, Noble M A, Rosenfeld L K. In-situ measurements of velocity structure within turbidity currents[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31: L09311.

[5] Paull C K, Talling P J, Maier K L, et al. Powerful turbidity currents driven by dense basal layers[J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 4114.

[6] Liu Z, Zhao Y, Colin C, et al. Source-to-sink processes of fluvial sediments in the South China Sea[J]. *Earth-Science Reviews*, 2016, 153: 238-273.

[7] 汪品先. 追踪边缘海的生命史: “南海深部计划”的科学目标[J]. *科学通报*, 2012, 57(20): 1807-1826.

[8] Zhang Y, Liu Z, Zhao Y, et al. Long-term in situ observations on typhoon-triggered turbidity currents in the deep sea[J]. *Geology*, 2018, 46(8): 675-678.

[9] Colin C, Liu Z, Lin A T-S, et al. Exploring paleo-hydrology and its impact on sedimentary dynamic processes in the South China Sea, Report of the Oceanographic Cruise HYDROSED-MD215[R]. Orsay: Université Paris-Saclay, 2018.

## In-situ observations of deep-sea storms

LIU Zhifei, ZHANG Yanwei, ZHAO Yulong

State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

**Abstract** The deep-sea storm involves the rapid movement of the water with high suspended particle concentration near the bottom of the deep sea. It can damage or even destroy all obstacles, change the submarine topography, and affect the benthic ecological environment. However, in-situ observational studies of its occurrence and the sedimentary record were few and far between. This paper studies the sediment dispersion process of a deep-sea storm in September 2016 caused by the turbidity current activity and observed in situ by deploying a mooring system on the levee of the Gaoping Submarine Canyon in the northeastern South China Sea. It is shown that the suspended particle concentration in places near the bottom increases rapidly with the increase of the temperature and the decrease of the salinity. It is believed that the sediment dispersion of the deep-sea storm is the main dynamic process for the formation of sedimentary laminae in the submarine canyon.

**Keywords** deep-sea storm; sedimentary laminae; in-situ mooring observation; Gaoping Submarine Canyon; South China Sea ●



(责任编辑 祝叶华)