

田元, 印萍, 段晓勇, 等. 浙江中部近岸泥质区台风沉积记录[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(2): 92-96.

TIAN Yuan, YIN Ping, DUAN Xiaoyong, et al. Reconstruction of typhoon records in mud area of central Zhejiang Coast[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(2): 92-96.

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.006

# 浙江中部近岸泥质区台风沉积记录

田元<sup>1,2</sup>, 印萍<sup>1,2\*</sup>, 段晓勇<sup>1,2</sup>, 曹珂<sup>1,2</sup>, 高飞<sup>1,2</sup>

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237; 2 中国地质调查局舟山海洋地质灾害野外科学观测研究站, 青岛 266237)

## 0 引言

探求强台风活动加强是自然气象波动还是全球变暖所致, 需要拓展台风记录年限、历史台风地质记录识别能力和规律分析。浙江省位于我国东南沿海, 每年 7—9 月常遭受台风影响, 平均每年约 5.1 个, 台风及其引发的风暴潮、暴雨灾害成为浙江省的主要自然灾害之一。浙江中部近岸泥质区是长江远端细粒泥质区的一部分, 在近 2 ka 来具有沉积环境稳定、沉积相对连续和沉积速率较高的特点。强台风活动导致泥质区形成粗颗粒沉积层的现象, 已经得到研究证实。中国地质调查局青岛海洋地质研究所浙江近岸的浙闽沿岸泥质区北部沉积中心采集的 D02 钻孔岩芯(图 1), 针对上部 1.6 m 部分中的粗颗粒层开展研究, 与器测台风活动建立联系, 重建浙江中部沿海历史台风活动记录。

## 1 沉积学特征

D02 岩芯粒度组成以粉砂为主(图 2), 含量在 59.2%~83.4% 之间, 平均 70.8%; 黏土含量次之, 含量在 9.2%~40.7% 之间, 平均 28.7%; 砂含量在 0~16.9% 之间, 平均含量 0.5%。平均粒径在 5.37~7.78 $\Phi$  之间, 平均 7.20 $\Phi$ 。分选系数在 1.12~1.86

之间, 平均 1.59, 分选较差。偏态在 0.84~1.77 之间, 平均 1.26, 97.2% 层位为正偏态(0.33~1.50), 其余为极正偏。峰态在 1.38~2.42 之间, 平均 2.04, 99.6% 层位为宽峰态, 0.4% 层位为中等峰态。在部分层位出现粒度异常较粗的现象(24~27、32~38、43~45、80、86、97、103、107、111、117、122、132、145~146 cm), 这些层位分选系数变大、偏态偏正、峰态偏宽, 显示出强水动力环境的特征。

台风过境期间, 强烈的风暴浪可引起海域底质沉积物的再悬浮, 或离岸输运沉积, 或原地分选后沉积, 导致沉积物粗化, 甚至形成粒序层理(图 2)。沉积物组成的粗化, 在粒度上, 表现为平均粒径和 D90 值的明显增大, 粒级频率分布向粗粒级集中; 在元素地球化学上, 表现为 Zr/Rb 和 Sr/Fe 值的增加; 在 X 光影像上, 表现为亮度增加(图 3)。

## 2 台风记录序列

### 2.1 事件沉积阈值计算

我们通过计算背景常态沉积的阈值, 将沉积物异常变化的事件沉积层确定出来。平均粒径指示了沉积物粒径频率分布中心趋向, 反映沉积物搬运沉积的平均动能情况。锆石是 Zr 的主要赋存矿物, 其抗风化较强, 富集于粗颗粒中。而 Rb 主要通过类质同象的方式赋存于含 K 的钾长石和黏土矿物中, 指示细颗粒。海洋沉积物中, Sr 主要存在于斜长石、碳酸盐矿物等含 Ca 的矿物和生物碎屑中, 一般在粗颗粒中富集。而 Fe 主要富集于细颗粒中。因此, Zr/Rb 和 Sr/Fe 值可指示粗颗粒沉积层。

基于此, 利用沉积物的平均粒径、Zr/Rb 和 Sr/Fe 共同来确定背景沉积阈值。基于 3 $\sigma$  准则方法确定异常层。具体操作步骤为: 首先利用箱线图

收稿日期: 2023-01-05

资助项目: 中国-东盟海上合作基金“长江三角洲与红河三角洲全新世沉积演化对比研究”(2015—2018 年); 亚洲合作专项“长江三角洲与红河三角洲海洋地质环境与地质灾害对比研究”; 中国地质调查局项目(DD20190276, DD20221775)

作者简介: 田元(1989—), 男, 博士, 主要从事海洋地质与海岸带环境地质方面的研究工作。E-mail: yuantian@ouc.edu.cn

\* 通讯作者: 印萍(1971—), 女, 博士, 研究员, 主要从事海洋地质调查研究工作。E-mail: pingyin@fio.org.cn

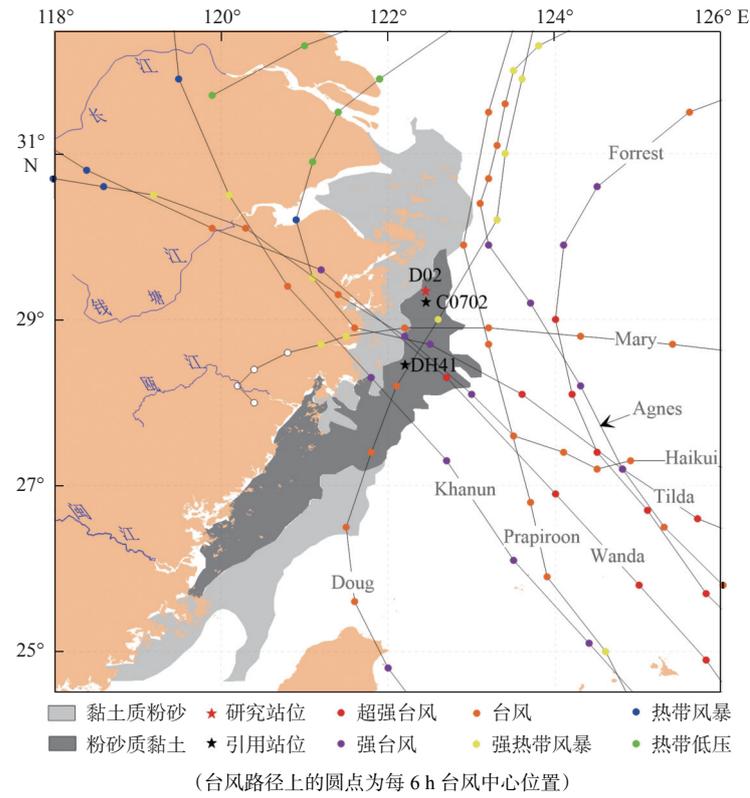


图 1 研究站位及台风路径

Fig.1 Map of study station and typhoon track distribution

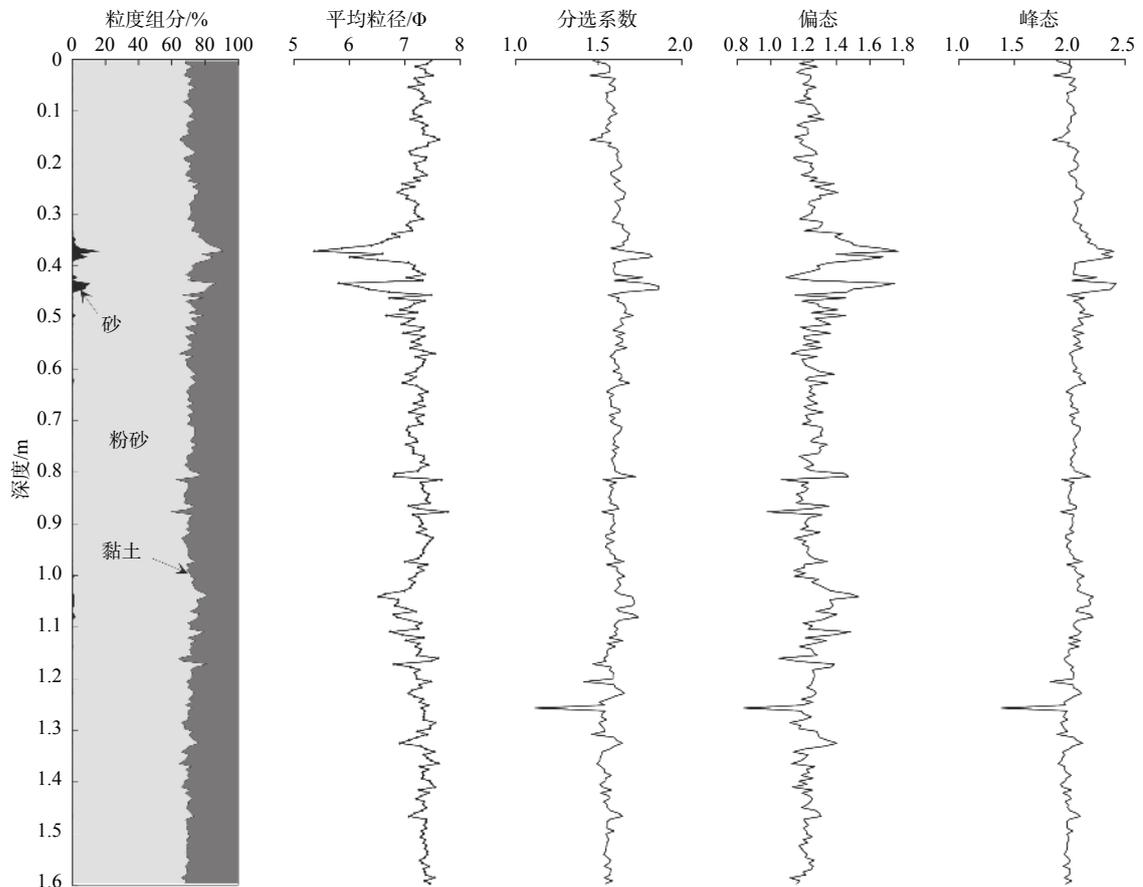


图 2 粒度参数特征

Fig.2 Grain size parameters of core D02

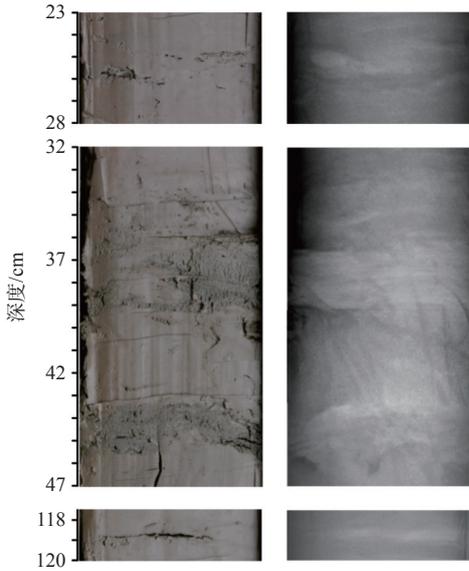


图3 典型台风事件沉积岩芯光学图像和 X 射线影像  
Fig.3 Optical image and X-ray graph from representative typhoon deposits in core D02

确定极端的异常值, 即落第三四分位数以外的值; 再对排除异常值之外的样本计算其平均值 X 和标

准偏差  $\sigma$ ; 最后以  $X \pm 3\sigma$  值作为背景沉积阈值。在元素比值计算前, 对扫描元素强度进行均一化处理, 以减小元素之间强度差异。

### 2.2 台风沉积序列重建

通过 AMS<sup>14</sup>C 测年结果, D02 岩芯此段沉积速率在 1.13 cm/a, 此段岩芯形成年代为约 1875—2016 年之间。在此期间内通过阈值法共识别 19 次事件沉积层(图 4, L1-L19), 层厚在 0.5~5.0 cm 之间。L1-L9 事件层是在 1949 年以来形成, 重点对此段事件层进行分析, 通过器测过境台风分析台风活动与事件沉积记录之间的联系(表 1)。

L1 事件层沉积物类型为粉砂, 根据平均速率计算, 形成年代为 2011 年。考虑到测年误差, 在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 1211 号超强台风 Haikui(海葵)。海葵是 5612 号台风 Wanda 后在宁波登陆的强度最强的台风, 带来的平均降雨量超过历史最高纪录。

L2 事件层沉积物类型为粉砂, 形成年代为

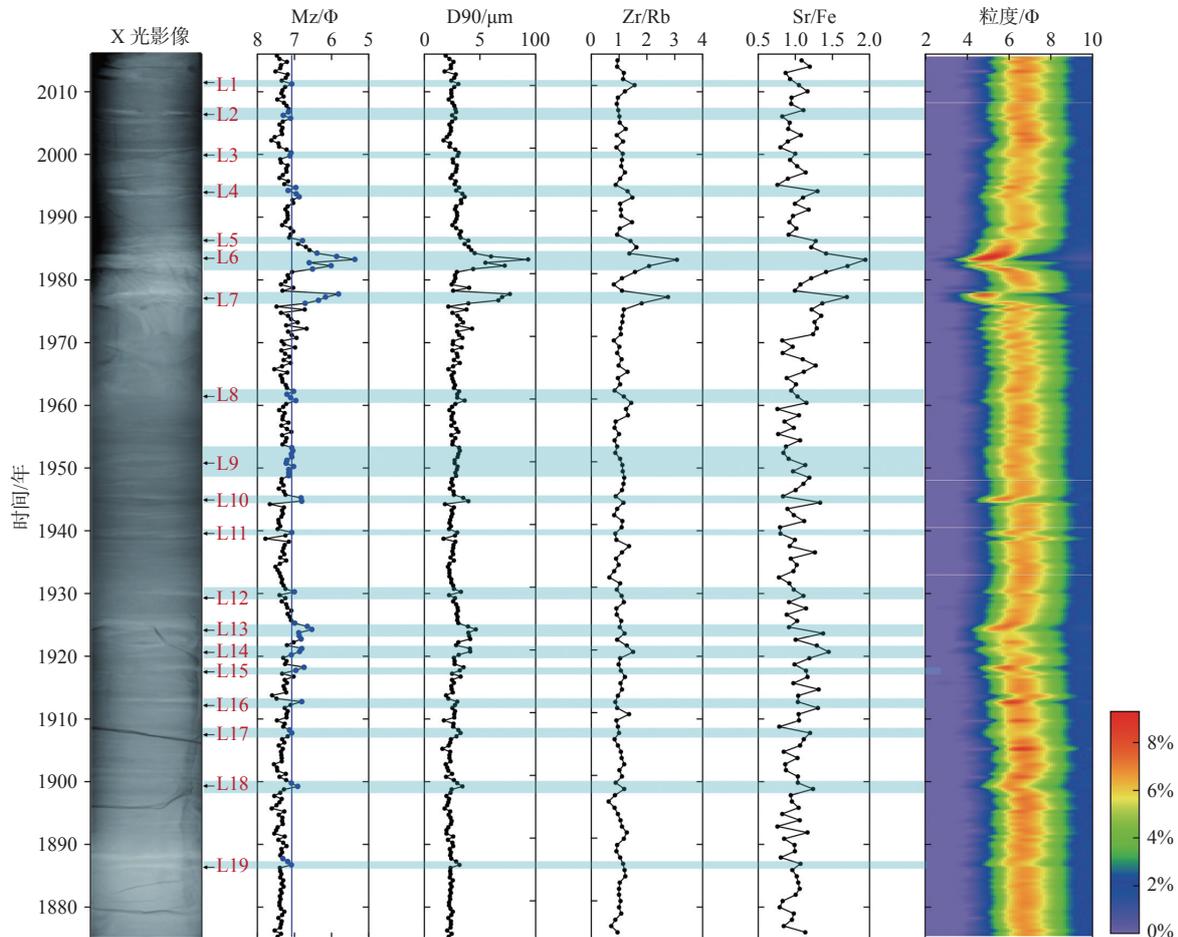


图4 岩芯事件沉积记录序列  
Fig.4 Sequence of event deposits in core D02

表 1 D02 记录事件层对应台风信息

Table 1 Typhoon information corresponding to event layers of core D02

事件层	层厚/cm	台风名	台风编号	登陆地点	最大风速	10级风圈覆盖时长/h	最大增水/m	站位
L1	0.5	Haikui	1211	浙江象山	42	12	3.23	澈浦
L2	1.5	Khanun	0515	浙江椒江	50	12	3.20	海门
L3	1	Prapiroon	0012	浙江舟山	33	12		
L4	2	Doug	9414	江苏如东	30	6		
L5	0.5	Forrest	8310	日本	55	24	2.16	澈浦
L6	3	Agnes	8114	韩国	45	12	2.43	吕四
L7	2	Mary	7413	浙江三门	35	12	2.46	澈浦
L8	2	Tilda	6126	浙江三门	55	18	1.86	乍浦
L9	5	Wanda	5612	浙江三门	65	18	5.32	澈浦

2005—2006 年。考虑到测年误差, 在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 0511 号超强台风 Khanun (卡努)。

L3 事件层沉积物类型为粉砂, 根据平均速率计算, 形成年代为 2000 年。考虑到测年误差, 在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 0012 号超强台风 Prapiroon(派比安)。

L4 事件层沉积物类型为粉砂, 形成年代为 1992—1994 年。考虑到测年误差, 在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 9414 号超强台风 Doug (道格)。

L5 事件层沉积物类型为粉砂, 形成年代为 1985—1986 年。考虑到测年误差, 在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 8310 号超强台风 Forrest (福雷斯特)。

L6 事件层沉积物为细砂质粉砂和粉砂, 具粒序层理, 形成年代为 1981—1984 年。在这个时间点附近, 最可能指示的台风为 8114 号强台风 Agnes(艾妮丝)。

L7 事件层沉积物为细砂质粉砂和粉砂, 具逆粒序层理, 测得形成年代为 1976—1977 年。最可能指示的台风为 7413 号台风 Mary(玛丽), 该台风在浙江三门登陆, 登陆时伴随整个浙江省普降暴雨乃至大暴雨, 周围有 20 个验潮站超过警戒潮位。风暴增水与天文大潮叠加, 象山港最高潮位达 4.35 m, 甚至高于 5612 号台风 Wanda。受台风灾害影响, 浙江 186 人死亡, 防洪堤坝冲毁 300 多条, 海塘决口 2 000 多处。

L8 事件层沉积物为粉砂, 测年形成得到年代为 1961—1962 年。其形成最可能和 6126 号超强台风 Tilda(蒂尔达)有关, 该台风导致 147 人死亡, 浙江 6 000 多处堤坝遭受潮水漫堤和巨浪冲击而损毁。

L9 事件层沉积物为粉砂, 测年得到年代为 1950—1953 年。5612 号超强台风 Wanda(温黛)可能是该沉积层形成的原因。台风温黛又称“八一台风”, 在象山登陆, 登陆时中心最大风速达 65 m/s, 中心气压 923 Pa, 创下 1949 年以来直到 0608 台风 Saomai(桑美)出现前登陆中国台风的最低气压记录。该台风同时也是 1949 年之后导致中国人口死亡数量最多的台风。附近最大增水达 5.32 m。强风和强风暴潮共同作用, 最终在站位处形成了 5.0 cm 厚的沉积层。

### 3 台风事件层形成控制因素

研究区沿岸河流泥沙输入量有限, 台风伴随的暴雨输入的以粗颗粒为主的沉积物也主要集中在近岸海湾区域。台风登陆或过境期间, 研究区沉积过程主要是底质沉积物的再悬浮、输运和堆积。台风中心靠近近岸浅水区时, 风暴浪对底质的切应力大大增加, 大量浅水沉积物被重新悬浮。虽然在风力驱动的水流作用下, 可能主要在沿岸方向输运。然而, 研究学者的数值模拟结果显示, 在台风路径附近, 会形成短期的垂直海岸方向的水流, 部分近岸再悬浮沉积物随离岸流向外海扩展输运, 当风暴增水与天文潮汐相叠加时, 这个过程会得到加强。此外, 由于台风特殊的逆时针环流结构, 当台风近乎垂直海岸移动时, 通常会形成在其右侧产生向岸流并形成侵蚀区, 而左侧产生离岸流并形成堆积区。因此, 台风事件沉积的形成会受到台风风力、移动路径、持续影响时间和风暴增水强度的共同影响, 在不同的区域表现为侵蚀或堆积的结果。

台风 Mary 影响下, D02 岩芯中形成了一套逆粒序层理(图 5), 而在 C0702 和 DH41 中, 结果为一

套向上变细的正粒序层理。逆粒序层理通常是动力筛选的结果, D02 水深相对较浅(28 m), 在台风浪的作用下, 碎屑颗粒相互碰撞, 粒径大的颗粒向上迁移而形成, 表现为侵蚀的状态。而 C0702 和 DH41 站位水深分别为 40 和 45 m, 水深相对较深,

离岸搬运的泥沙在机械分异作用下形成正粒序层理, 表现为堆积状态。此外, 岩芯 D02、C0702 和 DH41 所记录的台风数量呈现减少趋势, 这显示出水深对事件沉积记录的差异影响。

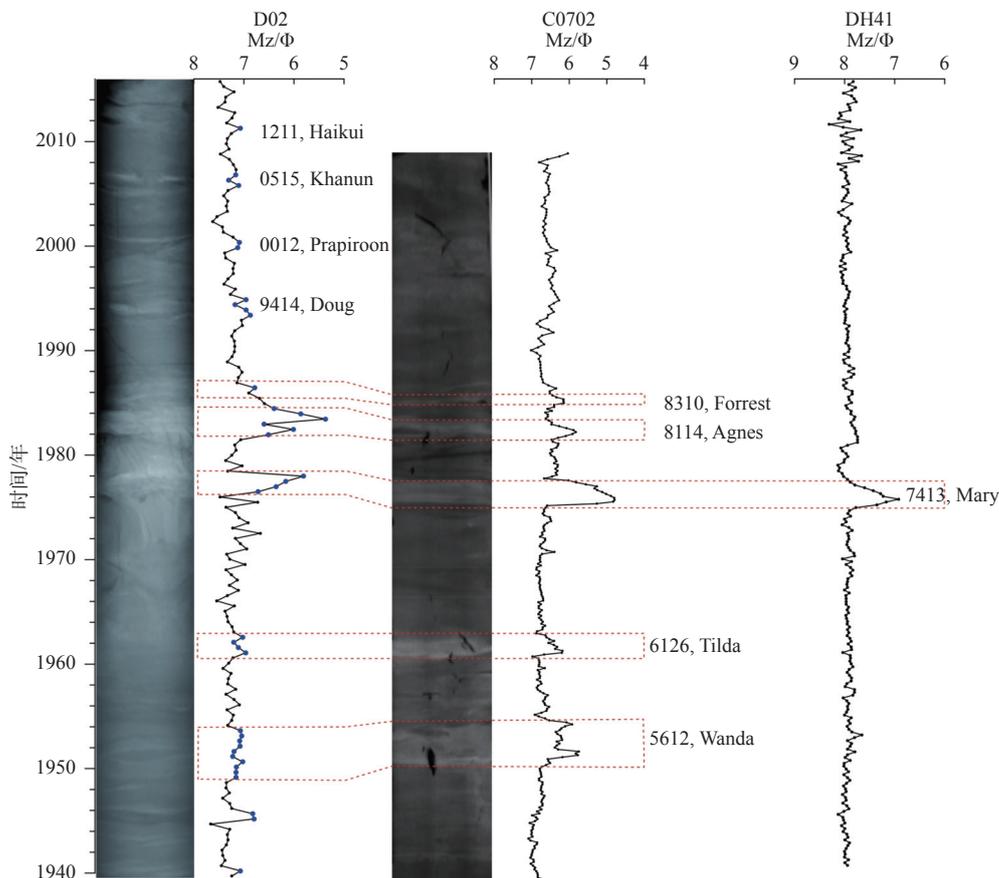


图5 浙江中部近岸泥质区不同岩芯台风沉积记录对比

Fig.5 Comparison of typhoon records in different cores in mud area of central Zhejiang coast

## 4 结论

以平均粒径、Zr/Rb 和 Sr/Fe 值为替代参数, 通过阈值法, 识别并重建了 1875—2016 年期间的 19 次台风活动序列, 表明了浙江中部近岸泥质区对台

风活动有良好的记录潜力。内陆架泥质区台风活动记录受到台风风力强度、移动路径、持续时长、风暴增水以及区域水深地形的共同影响, 同一台风过程在泥质区不同位置导致的沉积结果会有较大差异。