

https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.515



# 台湾东部海域台东峡谷沉积特征及其成因

孙美静, 高红芳, 李学杰

国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广东广州 510075

**摘要:**台湾东部峡谷的研究程度较低,对其沉积特征及成因缺乏系统的论述.利用近年来在台湾东部海域获得的地震剖面,对台东峡谷的形态特征、沉积充填以及成因进行了详细的分析.台东峡谷主体位于花东海盆,该部分水深在 4 000~5 500 m 范围内,以 NE 方向为主,长度约为 160 km,宽度为 0.2~14 km.根据峡谷的平面延伸特征,可以将台东峡谷分为 3 个区段:上游段为 NE-NEE 走向段、中游段为 NE-NNW 走向段、下游段为 NE 走向段直到峡谷嘴部;下切谷剖面形态从上游段的“V”型、中游段的复合形态(“UV”并行)逐渐过渡到下游段的“U”型.台东峡谷上游段—中游段滑塌构造发育,峡谷转弯处的侧翼可见波状沉积,其下游段则以沉积充填为主.台东峡谷的成因与构造作用、地形特征和深水沉积作用关系密切.受西南高东北低的地形特征及基底隐伏断裂控制,峡谷总体呈现 NE 向延伸;重力流作用为峡谷的下切侵蚀和充填提供了动力与物质来源,峡谷从上游段到下游段下切侵蚀能力减弱,谷底充填增厚;峡谷中游段受海山的阻挡,发生转向;峡谷下游段因多条峡谷携带的沉积物汇入和“喇叭状”地形的影响,输送的沉积物在出加瓜脊末端后,形成了大型深水扇.

**关键词:**花东海盆;台海底峡谷;形态特征;深水沉积;沉积学.

中图分类号: P736.21

文章编号: 1000-2383(2018)10-3709-10

收稿日期: 2018-01-15

## Sedimentary Characteristics and Origin of Taitung Canyon in Eastern Waters of Taiwan Island

Sun Meijing, Gao Hongfang, Li Xuejie

Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China

**Abstract:** There is a lack of systematic discussion on the sedimentary characteristics and causes of Taitung Canyon. The morphological features, sedimentary filling characteristics and origin of Taitung Canyon are analyzed by using the single-channel and multi-channel seismic profiles recently acquired in eastern Taiwan. Taitung Canyon is mainly located in the Huatung Basin and is generally oriented NE oriented with a length of 160 km, a width of 0.2–14 km in the water depth of 4 000–5 500 m. The Taitung Canyon can be divided into three types in profile shape: V, U, complex types and three segments in plane: upper, middle and lower segments, which are NE-NEE-striking, NE-NNW-striking and NE-striking respectively. Mass movements such as slides or slumps are ubiquitous in the upper of Taitung Canyon, which are driven by a variety of erosional processes from gravity flow erosion to turbidity current. Wavy deposition can be observed in the flank of the middle section of Taitung Canyon, which may be formed by turbidity current. The sufficient deposits could be discharged at the lower of Taitung Canyon, where the modern submarine fan developed. The formation and development of the Taitung Canyon resulted from the interaction between the tectonic activity, topography and deep-water deposition. Upper segment is controlled by topography and deep-water deposition, Gravity flow deposition provides a material and power source for the erosion and fills in the canyon. The middle segment is controlled by tectonism, which Gagua Ridge changes the orientation of the middle reach of Taitung Canyon;

**基金项目:**国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金(No. KLMMR-2015-A-11);中国地质调查局项目(Nos. GZH201300502, DD20160138, DD20160140, 1212011220117, GZH201400202, 1212011220116, GZH201100301).

**作者简介:**孙美静(1986—),女,工程师,硕士,主要从事海洋地质与沉积学方面研究. ORCID: 0000-0002-0213-3005. E-mail: sunmeijing0411@163.com

**引用格式:**孙美静,高红芳,李学杰,2018.台湾东部海域台东峡谷沉积特征及其成因.地球科学,43(10):3709–3718.

The deep-water fan, located at the end of Taitung Canyon, is controlled by “trumpet” topography. When they get rid of the lateral constraints from Gagua Ridge, the debris occur to unload, resulting in a large deepwater fan.

**Key words:** Huatung Basin; Taitung Submarine Canyon; morphological features; deepwater sedimentation; sedimentology.

## 0 引言

随着深水/超深水油气与海域天然气水合物勘探等研究的发展,海底峡谷受到越来越多的关注和重视(Harris and Whiteway, 2011; Micallef *et al.*, 2014; Su *et al.*, 2014).海底峡谷是大陆边缘常见的一种窄而深、两壁陡峭的长条状负地形.海底峡谷通常纵向切入陆架或陆坡,成为沉积物由陆地向深海传输的重要通道,构成了“源—汇系统”的重要组成部分.

南海北部大陆边缘发育了众多的海底峡谷,如琼东南盆地中央峡谷、珠江口外海底峡谷、台湾岛西南部海底峡谷群(福尔摩沙海底峡谷、澎湖海底峡谷、高坪海底峡谷等).前人从峡谷的形态特征、沉积

充填特征、时空演化特征、主控因素以及油气地质意义等多个方面对这些峡谷进行了深入的研究(Yu and Hong, 2006; 解习农等, 2012; 许怀智等, 2012; Ding *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2014; 徐尚等, 2014; 陈慧等, 2015; 廖计华等, 2016).然而,受数据获取、资料品质等方面的限制,台湾东部峡谷的研究程度却相对不高.台湾东部海域是菲律宾海板块与欧亚板块交汇部位,其中菲律宾海板块向 NW 方向运动造成吕宋岛弧与欧亚板块碰撞形成台湾岛,至今仍处于活跃状态.台湾东部海域的花东海盆属于东部岛坡外缘深海盆地,西侧与台湾岛、绿岛及兰屿相邻,南部为吕宋岛弧,东界是加瓜海脊,北缘与琉球海沟和琉球岛弧相接(图 1).花东海盆地形西高东低,沟谷体系发达(图 1, 2),主要发育台东峡谷、奇美峡谷(亦称秀姑峦峡谷)、花莲峡谷等(刘保华等, 2005;

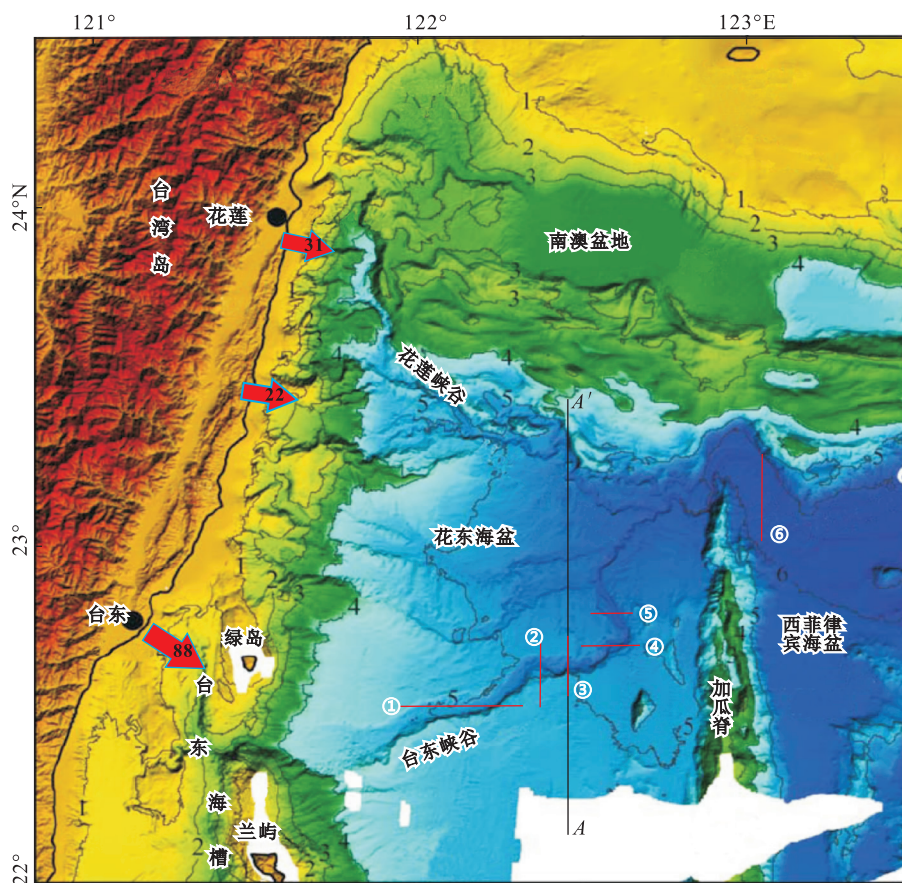


图 1 台湾东部海域花东海盆区域地形特征

Fig.1 A general bathymetric chart showing topography of eastern Taiwan Island

图中标注黑色和红色线为地震测线;红色箭头表示沉积速率,单位为 mm/a,据 Dadson *et al.*(2003);底图据 Sibuet *et al.*(2004)

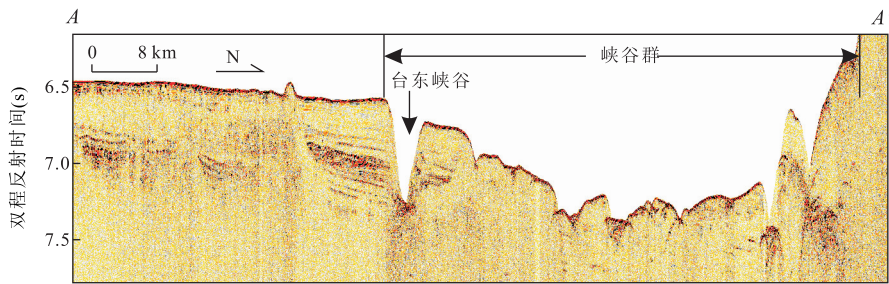


图 2 台湾东部海域海底峡谷的冲刷侵蚀特征

Fig.2 Erosion characteristics of submarine canyon in the eastern waters of Taiwan Island

AA'测线位置见图 1

Ramsey *et al.*, 2006; 耿威等, 2013; Lehu *et al.*, 2015).这些峡谷的发育对台湾岛东部地形及花东海盆、西菲律宾海盆沉积特征有显著影响.本次研究选择台东峡谷(Taitung Canyon)作为研究对象.

前人对台东峡谷的研究主要侧重于峡谷地形地貌特征方面的定性描述,并针对其成因进行了初步探讨,认为台东峡谷的形成主要受控于构造因素和海底浊流侵蚀作用,如 Schnürle *et al.*(1998)讨论了构造作用对台东峡谷形成的控制作用;刘保华等(2005)论述了台湾岛以东海域海底地形特征,进而分析其构造控制;沉积方面主要是针对东部山脉剥蚀、隆升特征以及东部近海河流沉积速率等方面研究(刘保华等,2005;屈继文,2011).前人的研究在峡谷形态描述方面不够精细,且缺乏系统的论述,本文将通过对台东峡谷地震剖面的精细解释,从平面和垂向上刻画峡谷的形态特征、分段性差异特征、沉积充填特征,最后探讨该峡谷的成因.

## 1 数据资料

台湾东部海域的地震资料稀缺,前人采用的数据主要来源:① 1975 年九连号研究船执行的 TAIJUNT 航次获得的海底地震反射数据、重磁资料;②

1995 年中美合作的 TAICRUST 深部地震勘测资料;③ 2000 年“大洋 1 号”航次获得的多波束全覆盖、重力、磁力和地震探测资料(隋波,2003).这些资料为研究台湾岛以东海域的海底地形地貌、区域地质构造和地壳结构特征提供了大量的科学依据.但这几次勘测研究侧重不同,地震资料布设位置局限.本文利用广州海洋地质调查局 2013~2014 年在台湾东部海域获得的最新地震反射剖面开展相关研究,其中①号、③号、④号剖面为单道地震,②号、⑤号、⑥号为多道地震剖面.各地震剖面的详细采集参数见表 1.

## 2 台东峡谷特征

花莲至台东海岸山脉外海陆坡(即台湾岛东部岛坡)坡度较大,平均坡度为  $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ (刘保华等,2005),水深在 1 000~4 000 m 之间,其上发育众多规模大小不一的海底峡谷(图 1,2).由南向北主要分布着台东峡谷、奇美峡谷、花莲峡谷等较大的峡谷(Ramsey *et al.*,2006),其中以台东峡谷规模最大.通过对花东海盆台东峡谷体系平面展布、剖面形态及沉积充填特征等分析,自西南向东北方向将台东峡谷体系划分为 3 个区段:上游段为 NE-NEE 走向段;中游段为过渡

表 1 地震数据采集主要参数

Table 1 The main parameters of seismic data acquisition

单道地震		多道地震			
①号剖面		③号、④号		②号、⑤号、⑥号剖面	
采集船	探宝号	采集船	东勘 1 号	采集船	探宝号
震源	GI 枪	震源	GI 枪	采样率(ms)	2
采样率(ms)	0.25	采样率(ms)	0.25	地震拖缆道数	480
偏移距(m)	11.3	偏移距(m)	33	道间距(m)	12.5
最大输出功率(cu.in)	420	最大输出功率(in <sup>3</sup> )	1 180	最大覆盖次数(次)	80
				枪阵总容量(cu.in)	5 080

表 2 台东峡谷不同区段剖面的峡谷参数统计

Table 2 Morphology parameter statistics of different sections of Taitung Canyon

剖面号	剖面方向	剖面与峡谷相交角度(°)	剖面所处峡谷区段	峡谷截面形态	谷顶宽度(km)	下切海底深度		谷底沉积充填厚度	
						双程反射时间(ms)	深度(m)	双程反射时间(ms)	厚度(m)
①	NW	90	上游段	V型	9.0	734	551	312	250
②	SN	90	上游段	V型	9.1	731	549	300	240
③	SN	90	上游段	V型	7.3	688	516		
④	EW	45	中游段	UV并行	13.5	658	494		
⑤	EW	45	中游段	UV并行	8.2	497	373	184	147
⑥	SN	90	下游段	U型	1.8	80	60	847	847

注:据 Le *et al.* (2015)文献中的地震P波传播速度采用如下数据:海水传播速度为1500 m/s,浅部沉积物速度为1600 m/s,⑥号剖面充填沉积较厚速度为2000 m/s.③、④号剖面为单道地震剖面,资料品质限制,谷底沉积充填厚度不确定.

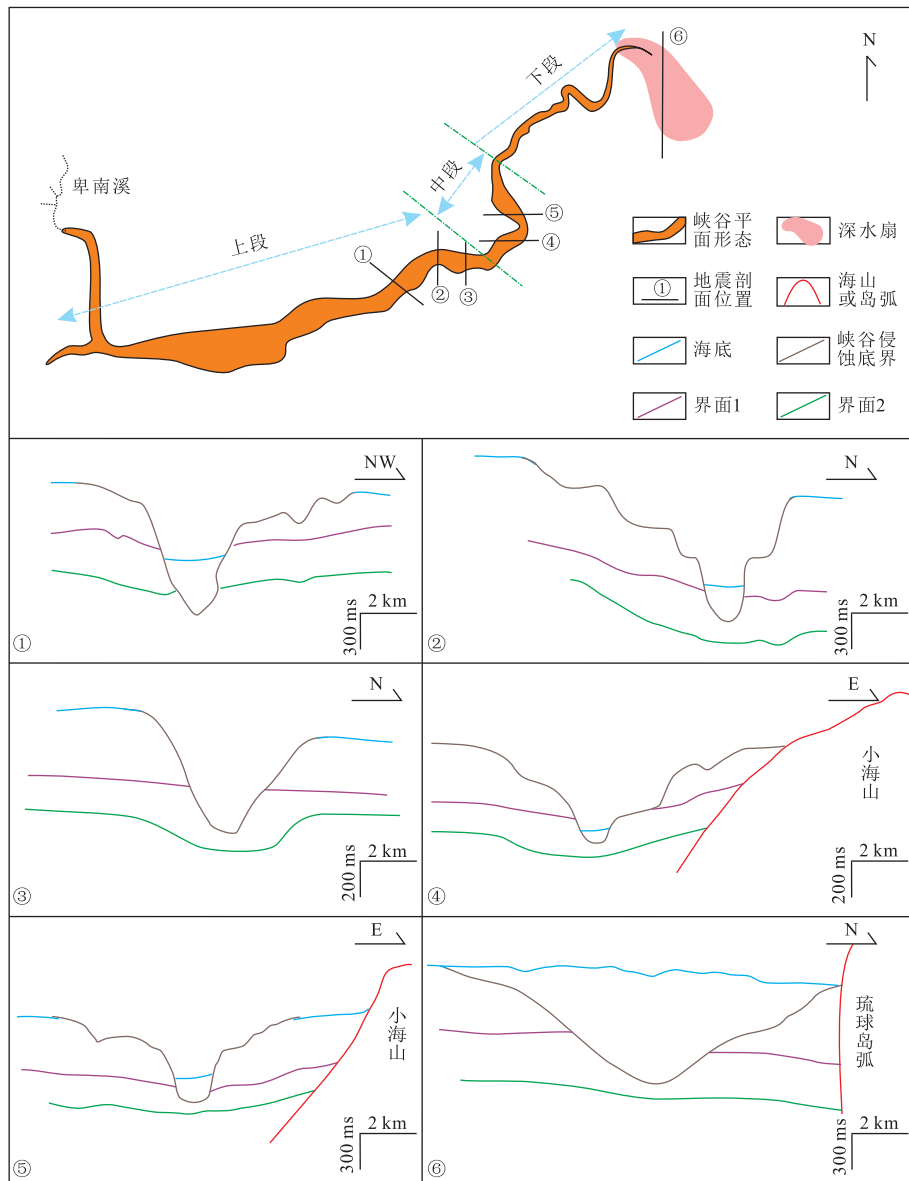


图 3 台东峡谷平面展布及典型剖面形态特征

Fig.3 The distribution and morphological feature of typical profiles of Taitung Canyon

段呈 NE-NNW 走向;下游段为 NE 走向段延伸到峡谷嘴部(表 2).台东峡谷的平面展布特征、下切谷形态及沉积充填特征详细描述如下.

### 2.1 平面与剖面特征

台东峡谷平面上整体呈“S”型,从西南向东北方向水体逐渐加深,在花东海盆内的主体水深范围为 4 000~6 200 m,总长超过 160 km(刘保华等, 2005).台东峡谷初始位置与台湾东部主要河川之一的卑南溪(Beinan River)相连,其头部沿台东海槽轴部向南延伸,之后向东穿过绿岛和兰屿之间的吕宋岛弧,经东部岛坡进入花东盆地,向 NE 方向延伸达 100 km,较平直,上游段弯曲系数约为 1.1;宽度在 7~14 km 之间,其中东部岛坡外坡处峡谷呈扇形散开状宽度较大,达到 14 km,向中下游逐渐变窄;下切谷剖面形态主要为“V”型,下切海底深度为 520~600 m(图 3 中①~③).

加瓜海脊西侧紧邻有一大致与其平行的海山链,台东峡谷在此处出现大拐弯,发生近 90°偏转.该段可视为台东峡谷的中游段,弯曲系数约为 1.7,宽度为 3~7 km,下切谷呈“UV”并行的复合型形态.

拐点南部,峡谷为 NE 向延伸,下切海底深度近 500 m(图 3 中④);拐点北部,峡谷转为 NNW 方向延伸约 16 km,下切深度为 370 m 左右(图 3 中⑤).

峡谷下游段与来自台湾岛东部岛坡北部的众多沟谷(包括奇美峡谷、花莲峡谷等)汇合,并进一步向 NE 方向延伸至琉球海沟,规模逐渐变小.该区段的峡谷弯曲系数约为 1.4,宽度小于 3 km,在琉球海沟外陆坡区宽度不足 200 m,剖面形态主要为“U”型,海底冲刷深度均小于 100 m(如图 3 中⑥).

### 2.2 沉积充填特征

通过对花东海盆内已有的地震资料精细解释,依据振幅、频率、连续性、反射结构、形状等地震反射参数特征的分析,发现在震测剖面上可以辨识出两个主要的层序界面:界面 2 与界面 1.这两个层序界面将花东海盆的沉积物区分为两个层序:S2 和 S1,各代表不同的沉积单元.台东峡谷发育的时间大致与界面 2 相当,其不同部位的沉积充填特征存在差异.

台东峡谷上游段滑塌构造发育,峡谷两侧的天然堤呈不对称分布,水道外侧陡峭,内侧阶地发育,谷底最深处靠近外侧,重力流侵蚀和垮塌作用强烈.

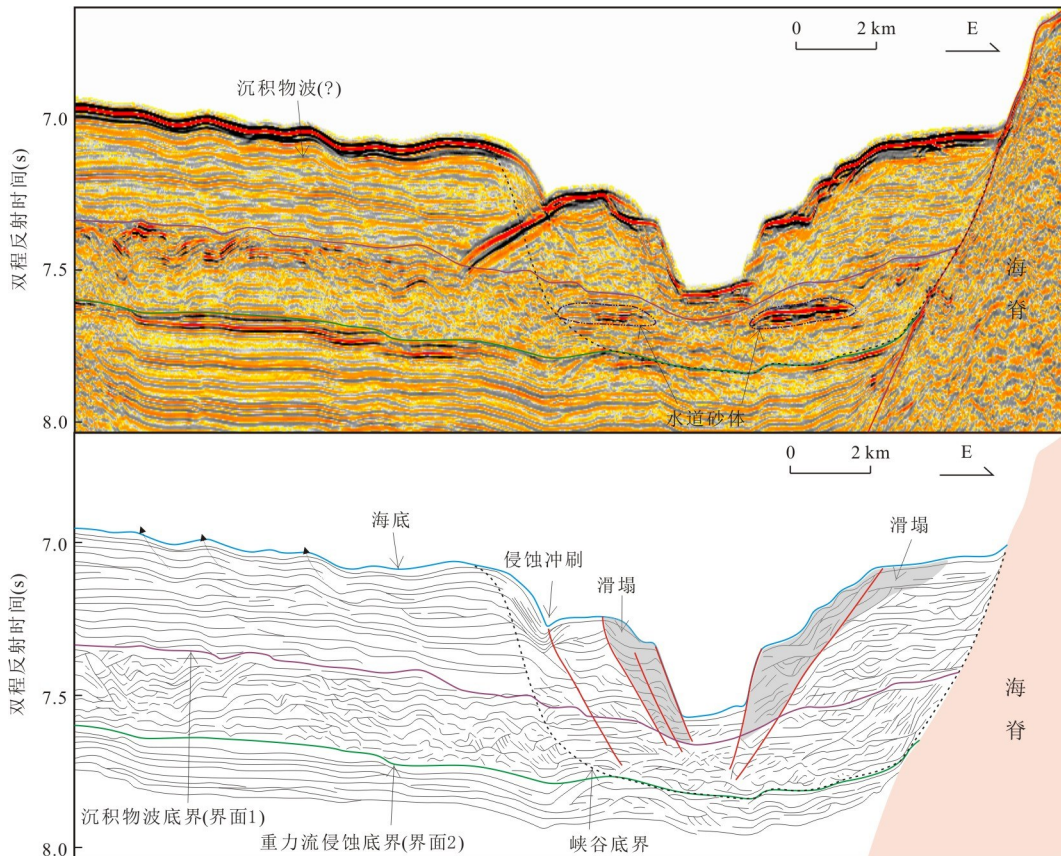


图 4 台东峡谷⑤号典型地震剖面解释图

Fig.4 Typical No.5 seismic profile of Taitung Canyon

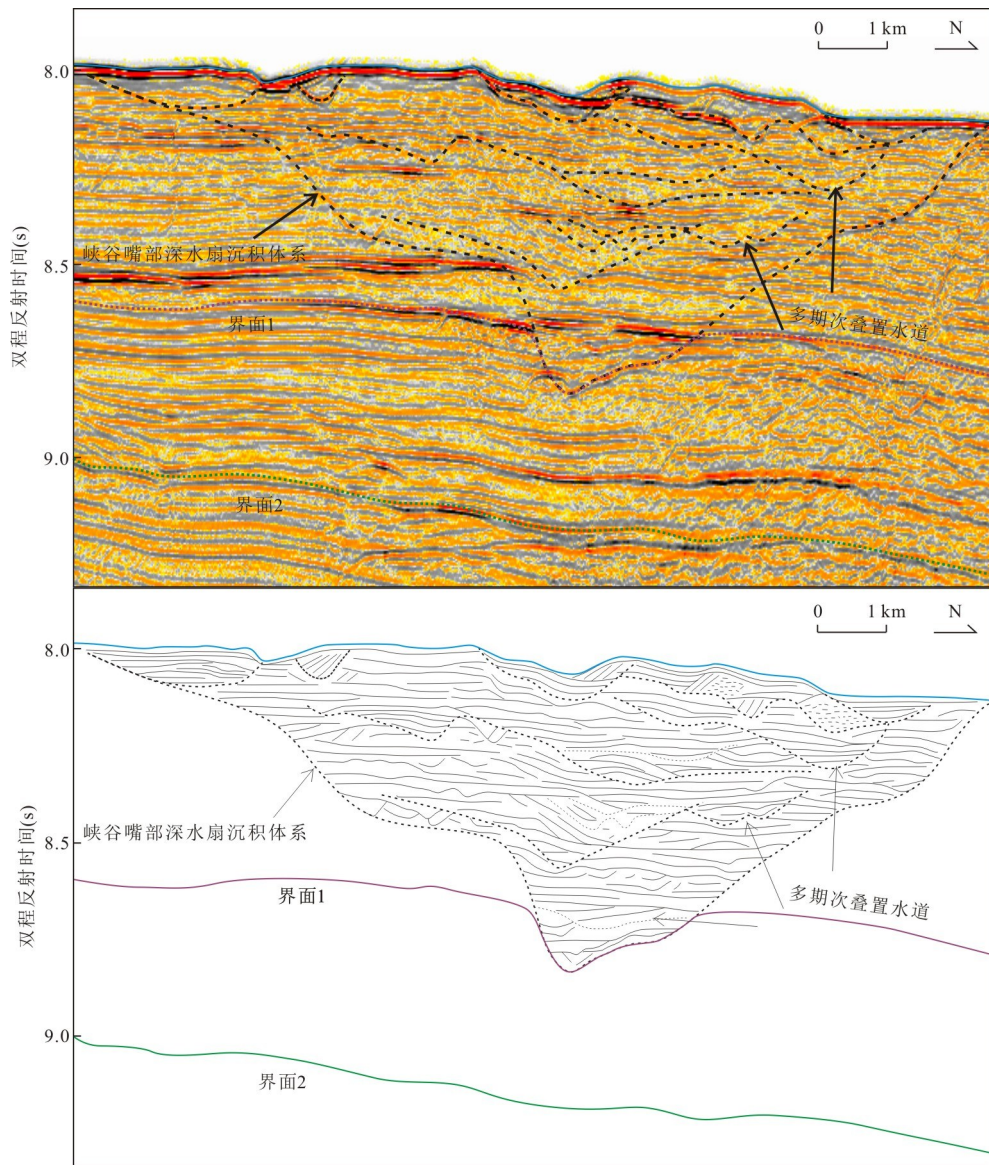


图 5 台东峡谷⑥号典型地震剖面解释

Fig.5 Typical No.6 seismic profile of Taitung Canyon

如图 3 中②号 SN 向延伸的多道地震剖面,横切台东峡谷上游段(NEE 走向段),谷态呈“V”型横截面,顶截面宽 9.1 km,下切海底 549 m。层序 S2 是一套透镜状、杂乱—短波状结构、中强振幅的反射沉积体,其内部为扭曲变形严重、无成层性的重力流沉积,其下部为平行层状、中—强振幅、连续性较好的深海相沉积。层序 S2 内重力流沉积体侵蚀特征明显,与上覆和下伏地震相呈不整合接触;界面 1 到海底之间的层序 S1 是一套平行、强振幅、高频、连续性好的反射层,局部发育水道充填沉积体,内部多为前积和平行充填。显示峡谷及周缘的侵蚀、滑塌沉积充填特征。峡谷壁主要为中—强振幅、低连续—断续的地震反射特征,沿着斜坡向下滑移,可见明显的阶

状滑塌现象,滑塌断层清晰可见。两岸不对称,因②号剖面位于峡谷由 NE 转向 NEE 走向转折拐点附近,北侧谷壁处于“凹岸”,受到更强劲的水流冲刷,谷壁较陡,地层发生高角度的侵蚀垮塌;南侧谷壁处在“凸岸”一侧,具有多级滑塌构造或冲刷阶地,整体宽缓,周缘地层的滑塌体分布面积大,沉积较厚,呈楔形向峡谷中心推进。峡谷侵蚀底界在重力流沉积层中下部,呈“底凸”状,充填体自下向上总体分为两套不同地震反射特征,下部一期充填为一套具有前积和双向上超结构特征的反射层,厚度约为 170 m,推测为重力流沉积充填;上部二期充填表现出平行层状、强振幅、连续性中等—好的反射特征,厚度为 70 m 左右,为深海浊流沉积。峡谷现今仍以下切侵蚀

作用为主,处于“饥饿型”充填阶段。

峡谷中游段的侵蚀作用与沉积充填伴生,在峡谷侧翼可见波状沉积,可能为浊流作用形成的沉积物波(图 4)。与峡谷中游段(NNW 走向段)斜交的⑤号 EW 向延伸的多道地震剖面显示峡谷呈“UV”并行形态,横截面顶部宽 8.2 km,下切海底 373 m(图 4,剖面位置见图 1)。峡谷下切侵蚀底界面大致与层序 S2 的底界面即界面 2 一致。层序 S2 是一套杂乱、强振幅(局部夹杂中弱振幅)的反射层,局部可见前积结构,为重力流沉积层,其贯穿剖面东西走向,直至东缘被加瓜脊带的小海脊阻挡而消失;S2 的下伏地层反射特征为厚层的平行结构、强振幅、连续性很好,两者地震反射特征截然不同,该套地层属于深海相稳定沉积。层序 S1 发育一套中厚层的具有长波状、连续性好、强振幅反射特征的沉积层,①号、④号、⑤号剖面上均有显示,推测为沉积物波;峡谷内部充填底界下切侵蚀到杂乱的重力流沉积层下部,呈“U”状,其内沉积充填反射特征与②号剖面类似,下部一期是杂乱中弱振幅反射的薄层重力流沉积充填,厚度为 112 m 左右;上部二期充填近海底为一套强振幅、高频、高连续反射的稳定沉积充填,约为 35 m 厚,较②号剖面充填厚度明显变薄。充填体附近局部有很小规模的平行层状、强振幅、连续性较好反射,推测是水道不断迁移摆动残余的水道底部砂体沉积。峡谷谷壁的阶梯状滑塌特征亦与②号剖面类似,典型的是西侧壁上对滑塌阶梯冲刷出“V”型谷,且与峡谷平面展布形态(图 1)吻合,是一向 NW 方向延伸的小型分支水道。

峡谷末端侵蚀深度较大,以沉积物充填为主,来自台湾岛东部的物源,经台东峡谷、秀姑峦峡谷、花莲峡谷等的输送在加瓜脊靠琉球海沟一侧堆积形成大型深水扇沉积。例如,近乎与峡谷嘴部垂直的⑥号 SN 向剖面显示(图 5,剖面位置见图 1),海底有多个较小的冲刷沟,一般侵蚀深度小于 60 m。海底向下有一整体呈宽缓的“U”型深水扇沉积,宽度约为 13.6 km,充填厚度可达 800 m。深水扇体由多期水道—堤坝复合体叠置构成,水道—堤坝复合体在剖面上呈透镜状或海鸥翼状形态,其宽度可达 2.7 km 以上,厚度约为 185 m(双程反射时间为 185 ms),内部呈侧积结构或双向上超反射充填。在各期水道、水道—堤坝复合体之间可见薄层状平行结构、强振幅、连续性好的反射,解释为水道砂、席状砂沉积。

综上所述,笔者对比台东峡谷各段特征认为,峡谷滑塌构造发育,重力流侵蚀和垮塌作用非常强烈,

并伴随着沉积物的充填。层序 S2 位于连续稳定的海相沉积层之上,是一套杂乱的重力流沉积层。台东峡谷下切侵蚀到重力流沉积层下部,峡谷底部充填有连续强振幅的水道砂沉积。层序 S1 靠近峡谷侧翼的部分可见一套波状沉积,推测为浊流作用形成的沉积物波。峡谷上游段到中游段,内部充填厚度为 100~300 m,分为两期,底部一期充填是杂乱的重力流、垮塌沉积,上部二期充填是连续性相对变好的浊流沉积。到峡谷末端,台东峡谷、奇美峡谷、花莲峡谷等汇聚,沉积物输送量及下切侵蚀能力都较大,在琉球海沟附近的峡谷嘴部侵蚀深度可达 800 m,被沉积物充填形成大型深水扇沉积体。

### 3 峡谷成因探讨

海底峡谷的形成、发育和演化是一个很复杂的过程,通常是构造活动、地形特征差异、物源供给、沉积与侵蚀作用等多种因素共同作用产生的结果(赵月霞等,2009;苏明等,2013;刘杰等,2016)。台东峡谷的成因与构造作用、地形特征和深水沉积作用关系密切。峡谷上游段主要受西高东低的地形特征、构造活动、深水沉积作用的控制,重力流沉积为峡谷的下切侵蚀和充填提供了物质与动力来源;峡谷中游段为过渡段,受加瓜脊带小海脊的阻挡导致峡谷发生转向;台东峡谷下游段因奇美峡谷和花莲峡谷等其他峡谷群输送的大量沉积物汇入,在出加瓜脊末端“喇叭状”地形时,摆脱了侧向约束,其携带碎屑物便卸载沉积下来,形成大型深水扇。

#### 3.1 构造活动

距今 6.5 Ma 左右,因菲律宾海板块的吕宋岛弧与欧亚大陆板块的东南边缘发生碰撞,台湾岛开始隆升造山(Huang *et al.*, 2001)。断裂、地震活动和基底起伏等构造因素对台东峡谷的形成和演化起到重要的控制作用(屈继文,2011)。台东峡谷上游段与沿台湾东部岛坡向下的其他侵蚀沟谷的走向明显不同,相对台湾东部呈 SE 向的其他峡谷,NE 向的台东峡谷上游段在走向上发生了大约 30°的逆时针旋转。同时古地磁研究表明自晚上新世以来海岸山脉发生了 25°~30°的顺时针旋转(Lee *et al.*, 1991),这个旋转的角度与台东峡谷走向旋转的角度相近似。天然地震数据表明台东峡谷下方可能存在 NE 向隐伏断裂或隐没的海脊,它们对海底峡谷的发育及路径产生重要影响。例如,Lehu *et al.*(2015)研究认为台东峡谷上游段呈 NE 走向的特征与下伏隐伏

右移断裂走向一致,显示其发育受到断层的控制作用.因此,笔者推测台东峡谷的这种走向变化可能是由于花东盆地在台湾岛顺时针的旋转过程中的反向运动所造成的,台东峡谷的上游段受到下伏断裂或构造脊的控制,先存断裂的活动使得峡谷上游段地层形成薄弱带,容易被剥蚀而形成水道或负地形,为台东峡谷的形成提供了有利的空间.

### 3.2 侵蚀—沉积作用

台湾东部自北向南发育一系列河川,它们对海底峡谷的形成起到重要作用.在晚中新世以来台湾岛隆升的背景下,台湾岛东部海底地形呈现“北陡南缓、西浅东深”的陡峭地形特征.东部岛坡地区狭窄,平均坡度达  $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ ,几乎直接过渡到花东海盆.显然,较大的地形落差增强了沉积物流侵蚀下伏地层的能力,从而在台湾东部岛坡上形成了大量规模不一的沟谷体系,也有利于陆源沉积物由陆架区向海盆长距离输送.同时,充足的沉积物供给也是影响峡谷形成的重要因素.如图 1 中红色箭头所示,台东峡谷的沉积物输送量为  $88\text{ mm/a}$ ,较之北部的秀姑峦峡谷 ( $22\text{ mm/a}$ ) 及花莲峡谷 ( $31\text{ mm/a}$ ) (Dadson *et al.*, 2003),台东峡谷的沉积物输送量是最大的,有足够的沉积物源可以影响峡谷的发育,使得台东峡谷成为台湾东部海域规模最大的海底峡谷.大量陆源碎屑物质通过与台东峡谷头部相连的卑南溪等沟谷体系(台湾东部岛坡具“西高东低”的地势),最终注入花东海盆(图 1).受先存断裂的活动控制形成的限制型“负地形”,使得来自东部岛坡的陆源碎屑优先在这些部位形成侵蚀性的沉积物流,导致早期水道不断加深加宽.同时台东峡谷下游段捕获了来自台湾岛东部岛坡众多沟谷输送的沉积物,这使得台东峡谷能够延伸得更远,最终汇入琉球海沟形成海底扇.

### 3.3 加瓜脊的遮挡效应

加瓜脊的存在也会影响峡谷展布和充填特征,这种影响对台东峡谷中游段平面上“大转弯”和下游段沉积特征的控制最为明显.加瓜海脊西侧有大致与其平行的海山链,这些与加瓜海脊相伴生的小海山表现为孤峰状,高出周围海底  $200\sim 1\ 000\text{ m}$  (刘保华等, 2005).台东峡谷行至花东海盆中东部,受到海山链上一较大海山的遮挡效应,使得重力流携带沉积物的流动方向发生改变,如峡谷上游段为 NEE 向延伸,受附近一处海山阻隔向 NE 方向转,到达海山近前,突然转向 NNW 方向,因此如图 3 所示,中游段出现一个“大拐点”.秀姑峦溪到花莲溪之间的台湾东部岛坡区

域沟谷体系发达,呈现滑塌性陆坡或水道化型陆坡的特征,同样地受到加瓜海脊对西侧峡谷内部充填沉积物的“屏障”作用影响,这些沉积物进入到台东峡谷体系后,大部分限制在峡谷之内,没有漫过东侧较高的峡谷陡壁,仅在峡谷较低的西侧部分溢出形成波状沉积(图 4).峡谷群输送的沉积物在出加瓜脊末端“喇叭状”地形时,摆脱了侧向约束,其携带碎屑物便卸载沉积下来,形成大型深水扇.

## 4 结论

(1) 台东峡谷平面上呈现出“S”形,具有明显分段性,可以划分为 3 段式:上游段为 NE-NEE 走向段,其与沿台湾东部岛坡向下的其他侵蚀沟谷走向明显不同,呈  $30^{\circ}$  左右相交,剖面形态为“V”型,以侵蚀作用为主,广泛发育滑动、滑塌等重力流沉积类型;中游段为 NE-NNW 走向段,呈“UV”并行的复合剖面形态,以侵蚀—沉积过渡作用为主,峡谷翼部发育波状沉积,可能为浊流溢出形成的沉积物波;下游段再次转向,为 NE 走向段到峡谷嘴部,最终汇入琉球海沟,下切形态呈“U”型,该段以沉积作用为主,发育大型深海扇.

(2) 地震剖面上自海底向下可以辨识出两个层序界面:界面 1 与界面 2.界面 1 到海底之间发育长波状连续反射的深海沉积物波,属于浊流成因;界面 1 和界面 2 之间发育杂乱反射的重力流沉积.峡谷底部下切到重力流沉积层下部,推测台东峡谷发育的时间大致与界面 2 相当.峡谷的下切侵蚀作用与沉积充填相伴生.下切谷底部有两期充填:下部为杂乱粗粒沉积充填,上部为细粒较连续沉积充填,同时边缘发育了浊积水道砂、滑塌等沉积体.到下游段峡谷嘴部的下切侵蚀谷内充填了厚层沉积物,发育大型的深水扇沉积.

(3) 台东峡谷的形成演化与构造活动、侵蚀—沉积作用及海底隆起密切相关:① 断裂活动导致地层破碎,重力流优先侵蚀较脆弱的地层,使峡谷上游段的延伸方向与周边侵蚀沟壑呈明显斜交;② 晚中新世晚期(约  $6.5\text{ Ma}$ ) 以来,台湾山脉持续隆升,来自台湾东部的大量沉积物,在沿着陆坡坡降方向自西向东的输送过程中发生向下的侵蚀、沉积物失稳,导致了台东峡谷的发育;③ 由于加瓜脊及其脊链上海山的阻挡作用,峡谷的中游段转为近 NNW 走向,同时大量沉积物在拐弯处溢流出来形成沉积物波.



## References

- Chen, H., Xie, X.N., Mao, K.N., 2015. Deep-Water Contourite Depositional System in Vicinity of Yitong Shoal on Northern Margin of the South China Sea. *Earth Science*, 40(4): 733–743 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2015.061>
- Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., et al., 2003. Links between Erosion, Runoff Variability and Seismicity in the Taiwan Orogen. *Nature*, 426(6967): 648–651. <https://doi.org/10.1038/nature02150>
- Ding, W.W., Li, J.B., Li, J., et al., 2013. Morphotectonics and Evolutionary Controls on the Pearl River Canyon System, South China Sea. *Marine Geophysical Research*, 34(3–4): 221–238. <https://doi.org/10.1007/s11001-013-9173-9>
- Geng, W., Zhang, X.H., Wen, Z.H., et al., 2013. A Review on Response of Arc-Continent Collision in Coastal Range, Eastern Taiwan Island. *Geological Review*, 59(1): 129–136 (in Chinese with English abstract).
- Harris, P. T., Whiteway, T., 2011. Global Distribution of Large Submarine Canyons: Geomorphic Differences between Active and Passive Continental Margins. *Marine Geology*, 285(1–4): 69–86. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.05.008>
- Huang, C. Y., Xia, K. Y., Yuan, P. B., et al., 2001. Structural Evolution from Paleogene Extension to Latest Miocene-Recent Arc-Continent Collision Offshore Taiwan: Comparison with on Land Geology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(5): 619–638. [https://doi.org/10.1016/s1367-9120\(00\)00065-1](https://doi.org/10.1016/s1367-9120(00)00065-1)
- Le, A.N., Huuse, M., Redfern, J., et al., 2015. Seismic Characterization of a Bottom Simulating Reflection (BSR) and Plumbing System of the Cameroon Margin, Offshore West Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 68: 629–647.
- Lee, T. Q., Kissel, C., Barrier, E., et al., 1991. Paleomagnetic Evidence for a Diachronic Clockwise Rotation of the Coastal Range, Eastern Taiwan. *Earth and Planetary Science Letters*, 104(2–4): 245–257. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(91\)90207-x](https://doi.org/10.1016/0012-821x(91)90207-x)
- Lehu, R., Lallemand, S., Hsu, S. K., et al., 2015. Deep-Sea Sedimentation Offshore Eastern Taiwan: Facies and Processes Characterization. *Marine Geology*, 369: 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.05.013>
- Liao, J.H., Xu, Q., Chen, Y., et al., 2016. Sedimentary Characteristics and Genesis of the Deepwater Channel System in Zhujiang Formation of Baiyun-Liwan Sag. *Earth Science*, 41(6): 1041–1054 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.086>
- Liu, B.H., Zheng, Y.P., Wu, J.L., et al., 2005. The Topographical Characteristics in the Area off Eastern Taiwan Island and Their Tectonic Implication. *Acta Oceanologica Sinica*, 27(5): 82–91 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Su, M., Qiao, S. H., et al., 2016. Forming Mechanism of the Slope-Confined Submarine Canyons in the Baiyun Sag, Pearl River. *Acta Sedimentologica Sinica*, 34(5): 940–950 (in Chinese with English abstract).
- Micallef, A., Ribó, M., Canals, M., et al., 2014. Space-for-Time Substitution and the Evolution of a Submarine Canyon-Channel System in a Passive Progradational Margin. *Geomorphology*, 221: 34–50. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.008>
- Qu, J.W., 2011. Preliminary Study in the Grain Size and Sedimentation Rate of Sediments from Eastern Taiwan (Dissertation). National Taiwan University, Taiwan (in Chinese with English abstract).
- Ramsey, L. A., Hovius, N., Lague, D., et al., 2006. Topographic Characteristics of the Submarine Taiwan Orogen. *Journal of Geophysical Research*, 111(F2): 1–21. <https://doi.org/10.1029/2005jf000314>
- Schnürle, P., Liu, C.S., Lallemand, S.E., et al., 1998. Structural Controls of the Taitung Canyon in the Huatung Basin East of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 9(3): 446–453. [https://doi.org/10.3319/tao.1998.9.3.453\(taicrust\)](https://doi.org/10.3319/tao.1998.9.3.453(taicrust))
- Sibuet, J.C., Hsu, S.K., Normand, A., 2004. Tectonic Significance of the Taitung Canyon, Huatung Basin, East of Taiwan. *Marine Geophysical Researches*, 25(1–2): 95–107. <https://doi.org/10.1007/s11001-005-0736-2>
- Su, M., Xie, X.N., Wang, Z.F., et al., 2013. Sedimentary Evolution of the Canyon System in Qiongdongnan Basin, Northern South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 34(3): 467–478 (in Chinese with English abstract).
- Su, M., Zhang, C., Xie, X.N., et al., 2014. Controlling Factors on the Submarine Canyon System: A Case Study of the Central Canyon System in the Qiongdongnan Basin, Northern South China Sea. *Science China Earth Sciences*, 57(10): 2457–2468. <https://doi.org/10.1007/s11430-014-4878-4>
- Sui, B., 2003. Geophysical Field Character and Tectonic Evolution of Eastern Waters off Taiwan Island (Dissertation). Ocean University of China, Qingdao (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. N., Chen, Z. H., Sun, Z. P., et al., 2012. Depositional Architecture Characteristics of Deepwater Depositional Systems on the Continental Margins of Northwestern

- South Sea, *Earth Science*, 37(4): 627–634 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2012.072>
- Xu, H.Z., Cai, D.S., Sun, Z.P., et al., 2012. Filling Characters of Central Submarine Canyon of Qiongdongnan Basin and Its Significance of Petroleum Geology. *Acta Geologica Sinica*, 86(4): 641–649 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S., Wang, Y.M., Peng, X.C., et al. 2014. Origin of Taiwan Canyon and Its Effects on Deepwater Sediment. *Science in China (Series D)*, 44(9): 1913–1924 (in Chinese).
- Yu, H.S., Hong, E., 2006. Shifting Submarine Canyons and Development of a Foreland Basin in SW Taiwan: Controls of Foreland Sedimentation and Longitudinal Sediment Transport. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(6): 922–932. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.09.007>
- Zhao, Y.X., Liu, B.H., Li, X.S., et al. Distributions of Different Submarine Canyons on the East China Sea Slope and Their Tectonic Response. *Advances in Marine Science*, 27(4): 460–468 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈慧, 解习农, 毛凯楠, 2015. 南海北缘一统暗沙附近深水等深流沉积体系特征. *地球科学*, 40(4): 733–743. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2015.061>
- 耿威, 张训华, 温珍河, 等, 2013. 台湾东部海岸山脉对弧陆碰撞的响应. *地质论评*, 59(1): 129–136.
- 廖计华, 徐强, 陈莹, 等, 2016. 白云—荔湾凹陷珠江组大型深水水道体系沉积特征及成因机制. *地球科学*, 41(6): 1041–1054. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.086>
- 刘保华, 郑彦鹏, 吴金龙, 等, 2005. 台湾岛以东海域海底地形特征及其构造控制. *海洋学报*, 27(5): 82–91.
- 刘杰, 苏明, 乔少华, 等, 2016. 珠江口盆地白云凹陷陆坡限制型海底峡谷群成因机制探讨. *沉积学报*, 34(5): 940–950.
- 屈继文, 2011. 台湾岛东部海域的沉积物粒径及沉积速率初探(硕士学位论文). 台湾: 国立台湾大学.
- 苏明, 解习农, 王振峰, 等, 2013. 南海北部琼东南盆地中央峡谷体系沉积演化. *石油学报*, 34(3): 467–478.
- 隋波, 2003. 台湾岛以东海域地球物理场特征及其构造演化(硕士学位论文). 青岛: 中国海洋大学.
- 解习农, 陈志宏, 孙志鹏, 等, 2012. 南海西北缘深水沉积体系内部构成特征. *地球科学*, 37(4): 627–634. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2012.072>
- 许怀智, 蔡东升, 孙志鹏, 等, 2012. 琼东南盆地中央峡谷沉积充填特征及油气地质意义. *地质学报*, 86(4): 641–649.
- 徐尚, 王英民, 彭学超, 等, 2014. 台湾峡谷的成因及其对沉积的控制. *中国科学(D辑)*, 44(9): 1913–1924.
- 赵月霞, 刘保华, 李西双, 等, 2009. 东海陆坡不同类型海底峡谷的分布构造响应. *海洋科学进展*, 27(4): 460–468.