

文章编号:1009-2722(2017)08-0018-06

南海东北部澎湖峡谷群沉积特征

聂 鑫,罗伟东,周 娇

(国土资源部海底矿产资源重点实验室,广州 510760;中国地质调查局广州海洋地质调查局,广州 510760)

摘 要:海底峡谷是海底长条形且窄而深的负地形,在主动和被动大陆边缘以及岛弧附近都有出现。澎湖海底峡谷群具有坡度大、地貌复杂的特点。运用高分辨二维单道地震资料,解释了峡谷的下切侵蚀面。分析表明,澎湖海底峡谷在剖面上表现为“V”型、“U”型或者底部宽缓的“U”型下凹状地震反射。峡谷上游受到的侵蚀作用较强,谷底次级沟槽发育,坡面冲沟发育,峡谷内部未见现代沉积物充填。澎湖海底峡谷群的形成与第四纪晚期海平面的变化有关,低水位时期,陆架大片出露,大量碎屑物质可以直达陆架边缘甚至上陆坡,此时重力流活跃,不断切割地层,逐步形成了澎湖海底峡谷群。

关键词:澎湖海底峡谷;沉积物波;重力流;滑塌

中图分类号:P736.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.08003

我国东海、南海均发现众多的海底峡谷,如东海陆坡上发育十几条形态各异、规模不等的海底峡谷。在南海已发现的海底峡谷主要有:珠江外海底峡谷、东沙峡谷、南海西南部海底峡谷、台湾海峡南部的高屏海底峡谷、高雄峡谷、台湾浅滩海底峡谷和澎湖峡谷等。

作为“陆—海”连接的重要组成单元,深水峡谷体系在“源—汇系统”、沉积物输送、海平面升降、气候变迁、深水油气勘探等方面受到越来越多的关注和重视。近年来,随着深海油气勘探及科学技术的发展,人们逐渐意识到深海峡谷具有重要的研究意义。一方面,深海峡谷可以作为主要的运移通道,将滑塌、碎屑流和浊流等沉积物从浅海搬运至深海环境中。同时,峡谷充填物和天然堤系统的沉积物可以作为良好的储层,对该区的油气勘探乃至水合物勘探具有重要的指导意义;另一方面,峡谷沉积物可以记录研究区的气候变

化、海平面升降和构造活动等地质历史,从而为这些领域的研究做出贡献。另外,海底峡谷地形地貌特征独特,水动力条件复杂,对海底峡谷形态特征及成因进行研究,可为深入了解沉积物的搬运模式提供科学依据。

1 地质概况

研究区位于南海东北部陆坡,东接欧亚板块和吕宋岛弧碰撞形成的台湾弧陆碰撞造山带,东南侧南海海盆向菲律宾板块俯冲消减,南侧为海底扩张形成的南海深海海盆,而西侧与有伸展背景的珠江口盆地相接。多种多样的地质活动在这里聚集,使得此处构造复杂且地质内涵丰富^[1]。南海北部陆坡海底峡谷十分发育,自东向西主要有澎湖峡谷群、台湾浅滩南峡谷群、神狐峡谷群、珠江海底峡谷及琼东南盆地中央峡谷等。这些峡谷群中的峡谷大部分汇入澎湖峡谷,并最终向南汇入马尼拉海沟^[2]。

澎湖峡谷群(图 1)位于南海北部大陆坡东北部的上一中陆坡,台湾浅滩和澎湖列岛以南,东侧为南海东部岛坡,西侧为笔架斜坡,南侧过渡到南

收稿日期:2017-06-19

基金项目:国土资源部海底矿产资源重点实验室项目(KLMMR-2014-A-13);中国地质调查局项目(1212011220115)

作者简介:聂 鑫(1986—),女,硕士,工程师,主要从事海洋地质和油气地质方面的工作。E-mail:nie_xin@126.com

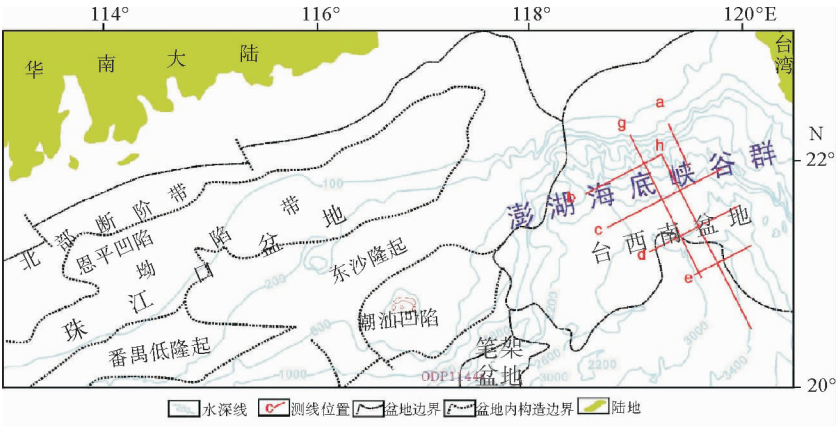


图 1 研究区构造区划

Fig. 1 Tectonic unit of study area

以记录研究区的气候变化、海平面升降和构造活动海海盆,总面积约为 $2.57 \times 10^4 \text{ km}^2$,从陆架坡折处一直延伸到陆坡下段。此区域地形下切强烈,形成众多海底峡谷。海底峡谷群地形向 SE 方向下降,由众多峡谷组成,峡谷之间相隔 1.5~24.6 km。呈现了典型的海底峡谷地貌,大部分峡谷形态顺直,深切于地形陡峭的南海北部陆坡,峡谷上游两边地势相差大,大致沿呈 SN 走向(155°)。在 2 500 m 深度附近处,各峡谷存在一个扭折点,向下汇聚成一个水道并转为 NNW 走向,两边地势差别变小,坡度变缓,呈“U”字型,向南与马尼拉海沟交汇。总体上,地形复杂,起伏变化大^[3]。

在华南陆缘裂解和南海扩张的时候,在澎湖峡谷群区域海底产生了一系列 NW 走向的小张裂,这种小张裂可能就是峡谷群的前身。在海底发生断陷的过程中,海底高能浊流随之形成,并顺着张裂产生的沟谷从上陆坡向下流动,浊流的冲刷使沟谷不断扩宽拉长,从而形成了今天的澎湖峡谷群(图 2)。

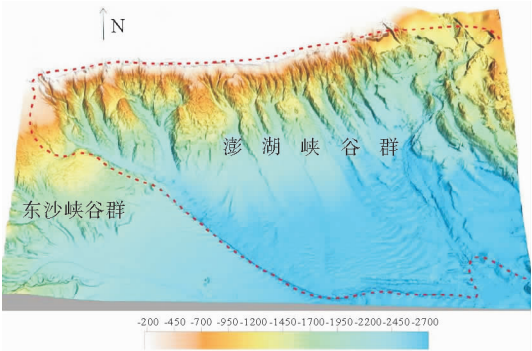


图 2 澎湖峡谷群地形图

Fig. 2 Topographic map of Penghu submarine canyons

2 数据与方法

本研究拟利用多波束测深资料和近年来由广州海洋地质调查局采集的最新高分辨率单道地震资料开展工作。地震数据由“奋斗 4”号和“奋斗 5”号调查船于 2013 年共同完成,采用 GI 气枪震源,测网间距为 20 km×40 km,覆盖了 ODP1144 钻孔与澎湖海底峡谷群。本次研究使用了十余条经过澎湖海底峡谷群的地震剖面,通过对澎湖峡谷群地震剖面进行精细的解释,详细勾绘出峡谷形态特征与填充特征,建立澎湖峡谷群的沉积结构。进一步将区域构造背景、沉积作用与峡谷的成因相结合,探讨峡谷的成因机制。

3 地震反射界面及沉积特征

3.1 地震反射界面划分及其时代

研究区从 NW 到 SE 水深逐渐增大,通过地震资料解释和钻井对比,第四纪厚度介于 50~450 m 之间,双程反射时间为海底往下 500 ms 以内,由于单道地震资料的探测深度最大可达约 500 m,故可以通过单道地震剖面可以清楚反映第四纪的沉积特征。

区域不整合界面在地震剖面上最明显的特征是削截、顶超和上超的反射终止现象。根据剖面地震反射特征,研究区识别出了 6 个主要的地震反射界面,自海底而下分别命名为 R_0 、 R_2 、 R_3 、

R_4 、 R_5 、 R_6 (图 3)。各界面主要反射特征如下:

R_0 :为海底,呈高频、强振幅、高连续、双相位反射特征,该区为多峡谷的崎岖海底。

R_2 :中强振幅、中—高连续反射特征,可连续追踪。上下反射层多为整合接触,峡谷下切多达该界面。部分地区为沉积物波的底界面。

R_3 :高频、中强振幅、中—高连续反射特征,同相轴双相位反射特征明显,该界面上下地层整合接触,少量峡谷下切到该界面。

R_4 :高频、中强振幅、中—高连续反射,同相轴双相位反射特征明显,界面上下地层不整合接触,易于识别,峡谷下切未达该界面。

R_5 :中频、中弱振幅、连续性较好,可全区追踪,峡谷区不易分辨。

R_6 :中频、中振幅,连续性变化较大,以中连续为主,峡谷区不易分辨。

通过与南海北部陆坡区域地质和钻孔资料结

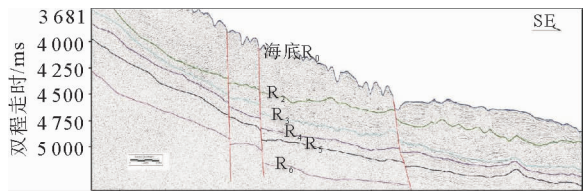


图 3 测线 a 各界面地震反射特征(位置见图 1 中的 a)

Fig. 3 Seismic reflection characters of each seismic reflecting interface (seismic section a in Fig. 1)

合进行地震层位划分对比,各个地震界面的地质属性划分如下: R_2 为上更新统与中更新统的分界; R_3 为上中更新统和下中更新统分界; R_4 为中更新统与下更新统分界; R_5 、 R_6 为下更新统内部界面。未识别出全新统的底界面是因为在峡谷水道强烈的冲刷作用下,全新统厚度较薄且不易识别,部分地区缺失。

3.2 峡谷形态特征

(1)峡谷下切形态特征

澎湖峡谷是峡谷内部沉积物搬运的通道,峡谷的上游以侵蚀作用为主,向下切割陆坡地层,在剖面上表现为“V”型、“U”型或者底部宽缓的“U”型下凹状地震反射,下伏地层被下凹状反射削截,地震剖面显示,受到水流冲刷及块体搬运引起的侵蚀作用影响,峡谷内部未见现代沉积物充填,说明了在强的水动力条件下产生的强烈的侵蚀作用,也说明目前仍处于下切侵蚀状态。峡谷两侧的充填堆积类似于“水道—天然堤”体系中的水道两侧发育的天然堤,以强振幅、中—高连续、中频地震特征为主,外形为丘型。显示出由于水道长时期侵蚀而导致的峡谷两侧的充填堆积。块体的搬运作用和强烈的侵蚀作用造成了澎湖峡谷群具有坡度大,地貌复杂的特点。谷内次级沟槽强烈发育(图 4),下切深度较大。

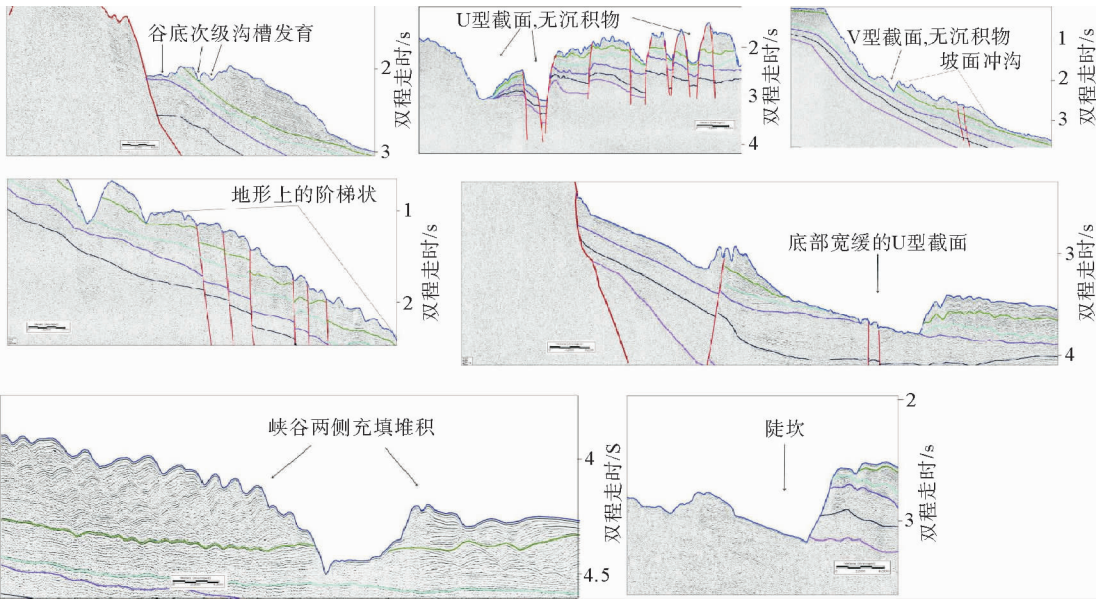


图 4 典型地震剖面揭示峡谷截面形态特征

Fig. 4 Typical seismic profiles show the morphological characters of canyon section

峡谷通常沿岩体或断层发育,在峡谷发生向下侵蚀的同时,受到构造活动的影响,在地形上表现为阶梯状(图 4)。沿海山发育的峡谷,由于海山和沉积物物质组成的差异,使得相对于坚硬岩体,松软的第四纪沉积物更易受到侵蚀瓦解,这种地形落差与差异侵蚀更加造成了峡谷深度的增加(图 4)。

(2) 从上游向下游的迁移

澎湖峡谷群水深范围变化大,从陆坡往下,水深大约从 200 m 到 4 000 m。位置不同,峡谷的形态和沉积特点各异,受沉积物供给、水动力条件、地形地貌和构造活动的影响,从上游到下游呈以下变化特点(图 5):峡谷上段地形复杂,大多呈“V”型下切,宽度较窄,下切深度较大,发育贯穿了整个第四纪的沉积序列 R_0-R_6 ;随着地势降低,主峡谷向下游变宽缓,下切深度变浅、底部变平,呈“U”型底,小峡谷向下游下切变弱并逐渐消失,峡谷中段的侵蚀下切仅影响到沉积序列 R_0-R_4 ;峡谷下段地形趋于平缓,切割深度降低,在下陆坡各个支谷合并,汇聚成一个大峡谷,水道呈底部宽缓的“U”型,峡谷中有薄薄的沉积物,成层性

差。峡谷出口处向海盆呈喇叭形开口,多以浊流的形式输送沉积物。

3.3 峡谷外的沉积物波特征

从地形上看,澎湖峡谷群地形复杂,呈 NNW 向切割,有着宽度不一的线性脊。在峡谷的下游,随着水深加深,地形变得相对平坦,沉积物波开始发育,从水深大于 2 600 m 开始,沉积物波的规模随着水深的增加而扩大。沉积物波展布呈扇型分布,与等深线近似平行。沉积物波与峡谷系统有着密切的联系。

测线 h 剖面近 NNW 向,穿越了海底峡谷,与沉积物波的展布方向垂直。剖面显示沉积物波的波状地层之下为平行反射的层状地层,两套地层为不整合接触。厚度在峡谷的南北两侧有较大的差异,在北侧厚度可以达到 350 m(TWT 约 400 ms),而在南侧则要薄得多,厚度从靠近峡谷的 220 m(TWT 约 250 ms)逐渐减小到远离峡谷的 130 m(TWT 约 150 ms)左右(图 6)。沉积物波的波长在峡谷两侧呈现不同的特征,在北侧波长较短,而在南侧靠近峡谷的区域波长较长,远离峡谷波长则开始减小。

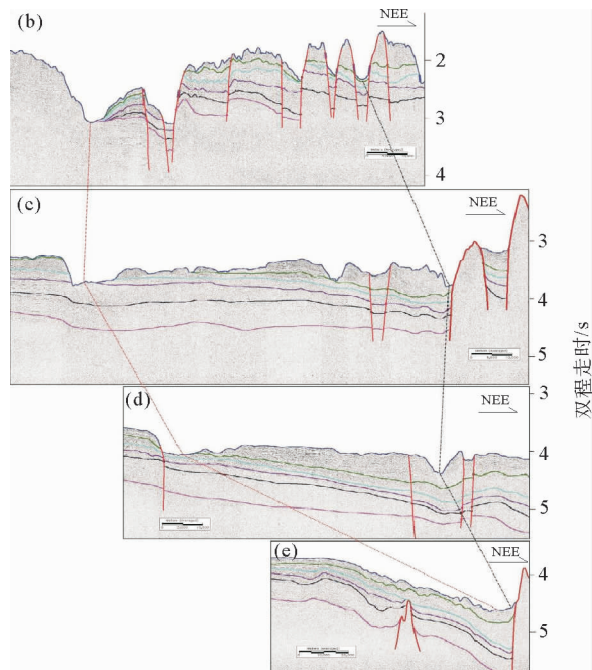


图 5 澎湖峡谷群峡谷水道横向变化
(位置见图 1 中的 b、c、d、e)

Fig. 5 Lateral variation of the Penghu submarine canyons and channels (seismic section b,c,d,e in Fig. 1)

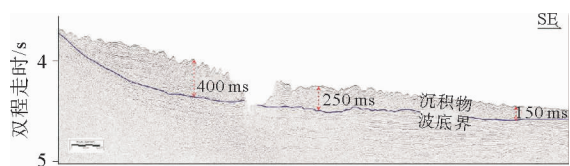


图 6 单道地震剖面上显示的沉积物波(位置见图 1 中的 h)
Fig. 6 Single-channel seismic profile shows the sediment waves (seismic section h in Fig. 1)

沉积物波在峡谷两侧发育,形态上呈叠瓦状,波形在横向上的变化显示了沉积物波与峡谷的直接关系,其能量顺流向会发生显著变化,即沉积物波是由经过峡谷输送的重力流沉积物堆积形成,而非底流。波形如此显著变化鲜见于底流,是重力流流体流态和流体动能有序减小的标志,这反映了重力流所专具的沉积特征^[4]。作为陆缘和深海之间沉积物运输重要通道的海底峡谷群,将大量的沉积物向下陆坡输送,并且随着坡度的减低而形成重力流。在峡谷发生转弯的区域,浊流往往会从水道中漫溢而出,沿着原先水道方向发

育沉积物波。

3.4 峡谷的滑塌特征

海底峡谷的块体搬运作用包括海底沉积物的滑塌和滑坡。滑塌是具有活动能力的破坏性地质灾害类型。而滑坡体、崩塌堆积物的土体松散,结构较为复杂,抗压抗剪程度低。海底发生重力滑坡时,重力作用带动沉积物滑动一定距离后停滞下来,在地震剖面上表现为上部强相位突然变得不规则或断开^[5],内部以杂乱反射特征为主,这与峡谷侧壁坡度较大有关(图7)。峡谷区滑塌发育表明峡谷为活动性的地质因素,其不稳定性会引起地层失稳。

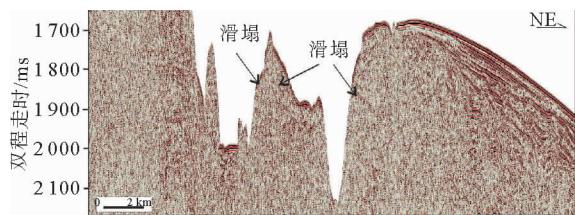


图7 澎湖峡谷群地震剖面显示滑塌发育

Fig. 7 Seismic profile shows collapse in the Penghu submarine canyons

澎湖海底峡谷群的上段由若干NW向切割陆坡的分支海底峡谷组成,长度不大,陆坡沉积物下向侵蚀、崩塌及滑坡是该段形成的主要原因^[6]。图8显示了澎湖峡谷群上段滑坡壁、坍塌谷和台坎十分明显,滑坡壁坡度达 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$,具有很强的活动性。由于陆坡斜坡表面水动力作用非常强烈,使发育于斜坡上坡段的峡谷,顺势而下切割斜坡,延绵数十千米。

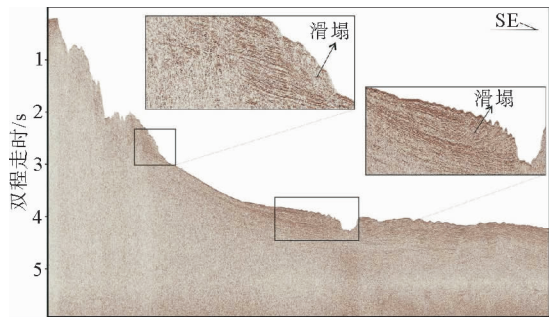


图8 滑坡带地震剖面反射特征(位置见图1中的g)

Fig. 8 Seismic reflection characters of landslide zone (seismic section g in Fig. 1)

4 成因探讨

目前关于海底峡谷的成因主要有两种解释,其一是河谷被淹没于海下,地质时期河流下切形成的陆上峡谷,随着地壳下沉或海面上升淹没于海下成为海底峡谷,如地中海地区科西嘉岛的海底峡谷,它与相邻陆上河谷的坡度连续一致,可以认为这种峡谷是受淹的河谷;其二是浊流侵蚀作用,是大多数海底峡谷的成因。

海平面的变化对海底峡谷体系的发育具有重要影响。第四纪晚期低水位期,陆架大片出露,陆上河道供应的大量碎屑物质可以直达陆架边缘甚至上陆坡,从而开始了澎湖峡谷群的发育。重力作用下,大量泥沙从上陆坡顺势而下,从而形成一股高密度的重力流,具有很强的侵蚀、搬运能力。对海底沉积物和海底地貌形态的塑造起着重要作用。北侧的陆架区是峡谷群陆缘物质输送的主要通道,该区发育的北北西向断裂控制了部分水道的展布,加之陆架过渡到陆坡的坡度较大,陆缘碎屑沿斜坡顺坡而下,势能不断增加,自北北西向南南东方向切割斜坡,形成了如今规模的澎湖峡谷群。

5 结论

澎湖海底峡谷群具有坡度大、地貌复杂的特点。运用高分辨二维单道地震资料,解释了峡谷的下切侵蚀面。分析表明,澎湖海底峡谷在剖面上表现为“V”型、“U”型或者底部宽缓的“U”型下凹状地震反射。峡谷上游受到的侵蚀作用较强,谷底次级沟槽发育,坡面冲沟发育,峡谷内部未见现代沉积物充填。滑塌和台坎十分明显,具有较强的活动性。

峡谷上段地形复杂,大多呈“V”型下切,宽度较窄,下切深度较大;随着地势降低,主峡谷向下游变宽缓,下切深度变浅、底部变平,呈“U”型底,小峡谷向下游下切变弱并逐渐消失;峡谷下段地形趋于平缓,切割深度降低,在下陆坡各个支谷合并,汇聚成一个大峡谷水道,水道呈底部宽缓的“U”型,峡谷水道中有薄薄的沉积物,成层性差。

沉积物波在峡谷两侧发育,形态上呈叠瓦状,波形在横向上的变化显示了沉积物波与峡的直接关

系,由经过峡谷重力流沉积物堆积形成,而非底流。
澎湖海底峡谷群的形成第四纪晚期海平面的变化有关。低水位时期,陆架大片出露,大量碎屑物质可以直达陆架边缘甚至上陆坡,此时重力流活跃,不断切割地层,逐步形成了澎湖海底峡谷群。

参考文献:

[1] 丁巍伟,李家彪,韩喜球,等.南海东北部海底沉积物波的形态、粒度特征及物源、成因分析[J].海洋学报,2010,32(2):96-105.
[2] 殷绍如,王嘹亮,郭依群,等.东沙海底峡谷的地貌沉积特征及成因[J].中国科学:地球科学,2015,45:275-289.
[3] 丁巍伟,李家彪,李 军.南海北部陆坡海底峡谷形成机制探讨[J].海洋学研究,2010,28(1):26-31.
[4] 王海荣,王英民,邱 燕,等.南海东北部台湾浅滩陆坡的浊流沉积物波的发育及其成因的构造控制[J].沉积学报,2008,26(1):39-45.
[5] 赵月霞,刘保华,李西双,等.东海陆坡不同类型海底峡谷的分布构造响应[J].海洋科学进展,2009,17(4):460-468.

[6] 刘 杰,苏 明,乔少华,等.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[J].沉积学报,2016,34(5):940-950.
[7] 徐景平.科学与技术并进——近 20 年来海底峡谷浊流观测的成就和挑战[J].地球科学进展,2013,28(5):552-558.
[8] 李 华,王英民.南海北部第四系深层等深流沉积特征及类型[J].古地理学报,2013,15(5):741-750.
[9] 苏 明,李俊良,姜 涛,等.琼东南盆地中央峡谷的形态及成因[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(4):85-93.
[10] 许怀智,等.琼东南盆地中央峡谷沉积充填特征及油气地质意义[J].地质学报,2012,86(4):641-649.
[11] 张功成.南海北部陆坡深水构造演化及其特征[J].石油学报,2010,31(4):528-541.
[12] 刘忠臣.中国近海及邻近海域地形地貌[M].北京:海洋出版社,2005,227.
[13] 陈泓君,蔡观强,罗伟东,等.南海北部陆坡神狐海域峡谷地貌形态特征与成因[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(5):19-25.

DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE PENGHU
SUBMARINE CANYON IN THE NORTHEASTERN SOUTH CHINA SEA

NIE Xin, LUO Weidong, ZHOU Jiao

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

Abstract: Submarine canyons, a kind of elongated, narrow and deep negative reliefs, are common at active or passive continental margins. The Penghu submarine canyons are characterized by large slope and complex landform. High resolution single-channel 2-D seismic data are used in this paper to identify submarine canyons. Data shows that the canyons are generally in“ V” shape or“ U” shape, or“U” shape with a wide bottom in seismic profiles. Strong erosional features are commonly observed in the upper reaches of the canyons. There secondary grooves and slope gullies without sediment infilling are quite common. The formation of the Penghu submarine canyons is related to the sea level change during the late Quaternary. In the low water stage, the shelf was widely exposed to air and deposition occurred only in the area out of the shelf or even on the upper slope. Active gravity flow contributed to the formation of the submarine canyons.
Key words: Penghu submarine canyons; sediment waves; gravity flow; collapse