

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2014.02001

南海北部白云凹陷陆坡海底峡谷 地形地貌与沉积地层特征

朱林¹, 傅命佐¹, 刘乐军¹, 李家钢², 高珊¹

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 中海石油研究总院, 北京 100027)

摘要:利用 2011 年在南海白云凹陷北部陆坡海域获得的多波束测深数据和浅层多道地震剖面, 对研究区海底峡谷的地形地貌要素和沉积地层进行了详细的分析。在水深 500~1 700 m 范围内识别出 14 条 NNW—SSE 向或近 N—S 向展布的近直线型海底峡谷, 长度为 12~39.2 km, 宽度为 1.1~3.4 km, 下切深度最大达 234 m, 谷壁西缓东陡, 谷底最深处均靠近东侧谷壁。峡谷上段谷底无沉积物堆积或有少量蚀余堆积, 地层反射面略向东倾斜, 谷壁上有滑塌现象。下段谷底位于浊流堆积扇上, 沉积厚度较大, 地层呈平行或亚平行的反射模式, 侧向连续性好, 有些地方发育密集的断层和滑塌构造。谷脊布满了丘状凸起, 地层结构揭示出其沿坡爬升的趋势, 有的凸起下方有沿断层向谷底方向的错动。

关键词:海底峡谷; 白云凹陷; 南海

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2014)02-0001-09

海底峡谷是海底窄而深的长条形负地形, 横剖面呈现出“V”字形和“U”字形两种形态, 谷壁高而陡, 谷底向大洋方向倾斜, 是浅水沉积物质向深海运输的重要通道^[1-3]。由于峡谷内发生着复杂的搬运过程和沉积作用, 出口处形成的峡谷扇通常富含砂, 是良好的油气储集场所^[4-5]。因此, 海底峡谷的研究备受海洋地质学者的关注和重视。

目前几乎在被动大陆边缘、主动大陆边缘、岛弧及海沟等所有构造环境中都发现了海底峡谷的存在^[6]。我国海洋地质学者对东海陆坡峡谷、台湾岛附近海域海底峡谷以及南海北部陆坡峡谷的研究已经取得了丰硕成果^[7-9]。近年来, 随着南海北部陆坡水合物资源和深水油气资源调查, 在珠江口盆地的白云凹陷北部陆坡陡坡带发现了 14 条近南北走向的海底峡谷, 但是由于缺乏全覆盖高分辨率多波束测深资料及浅地层资料, 对海底峡谷几何形态特征的研究程度较低。

本文利用最新的多波束全覆盖测深数据及浅层多道地震剖面, 分析了白云凹陷北部陆坡发育的 14 条峡谷的地形地貌特征和沉积地层特征, 这对于深

入了解海底峡谷地貌的发育演化、峡谷内部重力流沉积特征以及峡谷灾害地质特征有重要的意义。

1 区域地质背景

白云凹陷属于珠江口盆地南部坳陷带(珠二坳陷和潮汕坳陷)的一个次级构造单元^[10], 位于陆坡深水区, 面积约 25 000 km², 水深大部分为 500~2 000 m。白云凹陷北侧是番禺低隆起, 东侧为东沙隆起(图 1), 西侧以一条北西走向的基底断裂、岩浆活动带为界, 与神狐暗沙隆起和珠二坳陷西端相邻, 南部为珠江口盆地南部隆起带^[11-15]。白云凹陷经历了中生代挤压、新生代早期裂陷作用以及新生代晚期沿马尼拉海沟俯冲作用的影响^[16], 基底组成十分复杂, 但凹陷的东西两侧陆架坡折较为平缓, 所在的北坡陆架坡折很陡, 发育了切割较深的十多条海底峡谷(图 2)。

2 数据来源与方法

本文资料来源于国家重大科技专项在研究区调查所获取的多波束水深资料和高分辨率深水浅层多道地震剖面资料。

多波束水深数据是 2011 年 4 月利用南海 503 号船的 EM302 多波束系统在研究区进行全覆盖调查获取的。数据经过全深度声速剖面校正、系

基金项目:“十二五”国家科技重大专项子课题(2011ZX05056-001-02); 国家自然科学基金项目(40606015)

作者简介:朱林(1987—), 女, 研究生, E-mail: dbstdzl@126.com

通讯作者:傅命佐, 男, 研究员, 主要从事海底地貌与灾害地质研究, E-mail: mzuofu@fio.org.cn

收稿日期: 2013-03-17; **改回日期:** 2013-06-19. 文凤英编辑

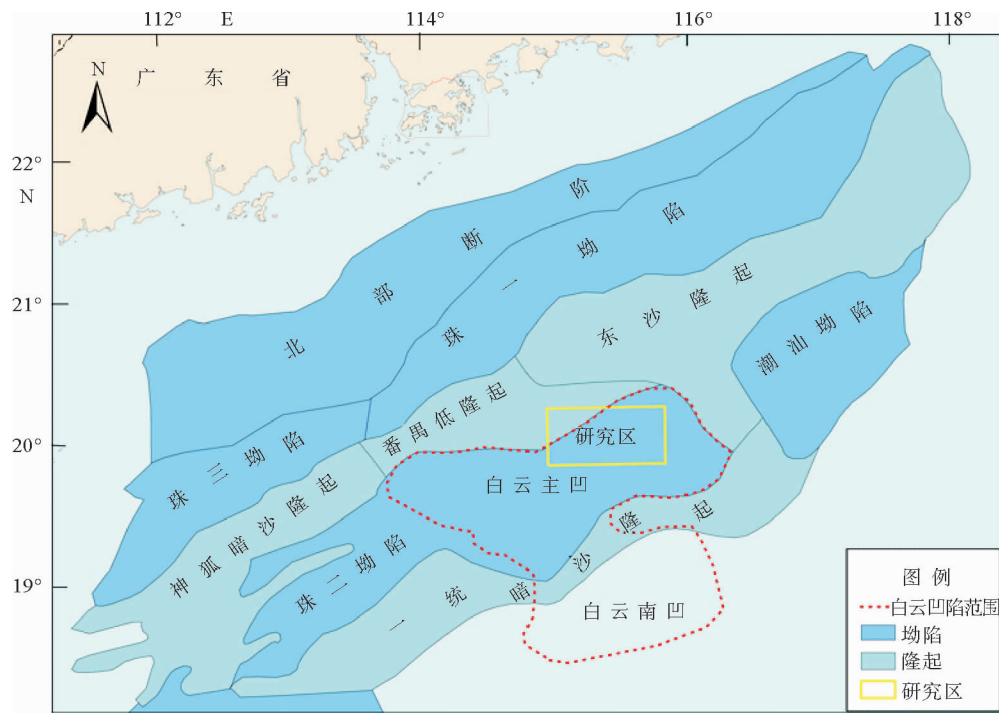


图 1 珠江口盆地地质构造及研究区位置(据文献[17-18]修改)

Fig. 1 Geotectonic map of Zhujiang River Mouth Basin and location of study area

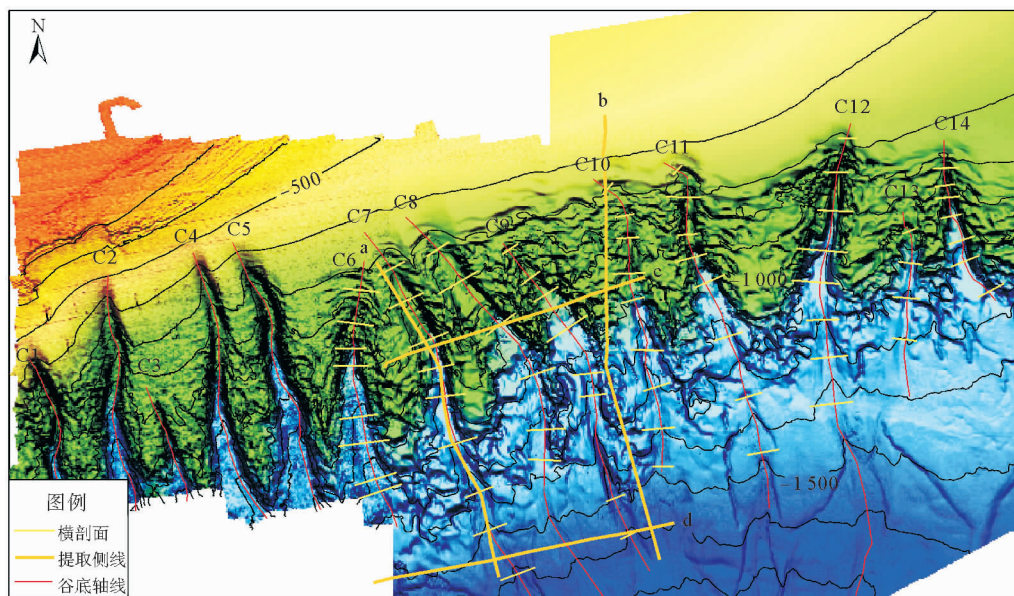


图 2 白云凹陷海底峡谷地形地貌

Fig. 2 Morphology of submarine canyons in the Baiyun Sag

统参数校正、船姿校正等后处理流程并形成网格化数据(格网间距为 20 m)。最后利用 sufer8.0 软件绘制地形等高线图和三维地形图(图 2),利用 Globe mapper12 软件对研究区海底峡谷的地貌形态数据进行提取、分析。

浅层多道地震剖面是 2010 年中国科学院南海

海洋所“实验 1 号”双体调查船,在研究区进行地震探测所获得。探测中使用 10 000 J 等离子体火花震源、小道距数字接收电缆(6.25 m 道间距,3.125 m CDP 点间距)组成的浅层多道地震探测系统,其穿透深度 200~300 m,垂向分辨率约 2~3 m。

3 结果

3.1 海底峡谷地貌形态特征

根据研究区海底地形图(图 2),在水深 500~1 700 m 范围内识别出 14 条规模不等的海底峡谷。为叙述方便,对峡谷自西向东依次编号为 C1—C14。C6—C14 峡谷分布在调查区内,峡谷地形特征得到完整的揭示,其中 C8 峡谷延伸距离最大,长达 39.2 km。识别出的峡谷,整体呈 NNW—SSE 向或近 N—S 向展布,各峡谷的形状相近,平面上呈喇叭状,峡谷头部地形自西向东越来越复杂。海底峡谷的横断面呈“V”形或“U”形,但峡谷东西两壁发育不对称,出现西缓东陡的特征,同一条峡谷的横断面形态在不同段也有变化。根据多波束全覆盖水深测量数据建立的地形模型,利用 Globe mapper¹² 软件提取了研究区海底峡谷的地貌形态参数(表 1),对 C6—C14 峡谷的纵、横断面进行了制图分析(图 3)。

C1—C5 海底峡谷:在研究区内 C1—C5 峡谷的下段位于调查区外,未能完全揭示其全部形态特征。其上段谷体形态简单,整体呈 NNW—SSE 向展布。其中最长的为 C4 峡谷,延伸约 27.6 km, C3 峡谷最短,约 12 km。除 C3 峡谷起于水深 900 m,其他 4

条峡谷谷源水深均在 600 m 附近。峡谷谷源宽度较窄,随着峡谷延伸,宽度不断增加,平面上呈喇叭状。峡谷的平均下切深度都较大, C5 峡谷达 234 m, C3 峡谷下切深度最小约 122 m。C1 峡谷的东西两侧谷壁坡度最大,西侧平均 12.7°, 东侧平均 11.2°。除 C1 峡谷谷壁西陡东缓外,其他 4 条峡谷都呈西缓东陡的特征。

C6 海底峡谷:峡谷分布于水深 700~1 420 m 之间,平面上近 N—S 向展布,长约 25 km。随着峡谷的延伸,地形横剖面逐渐由峡谷上段(位置 2-3)的“V”型过渡为下段(位置 4-8)的“U”型(图 3 C6)。峡谷头部(位置 1)宽度较大,约为 2 500 m,下切深度仅 43m,西侧谷壁坡度 2.5°, 东侧谷壁明显较陡,约 7°。位置 2-3,峡谷横剖面呈 V 型,下切深度平均 130 m,峡谷宽度约 3 000 m,谷壁两侧坡度逐渐变陡,位置 3 处,东侧谷壁坡度达 11°。从位置 4 开始,峡谷变为底部比较宽缓的 U 型,峡谷宽度、谷壁坡度基本保持不变,谷底宽度增至 500 m,峡谷下切深度加深到 236 m。位置 5 处,谷底宽度明显变宽,增至 1 210 m,东侧谷壁的坡度达到最大,约 13°,下切深度有所减小,约为 160 m。位置 6-8,峡谷宽度明显增大,平均 4 700 m,两侧坡度均明显减小,下切深度也逐渐减小,到位置 8 处两侧坡度约 3.5°,下切深度减小到 130 m。

表 1 研究区海底峡谷主要地形参数特征

Table 1 Topographical parameters of submarine canyons in the study area

峡谷编号	谷源水深/m	末端水深/m	峡谷走向	峡谷长度/km	平均宽度/m		下切深度/m	
					上段	下段	上段	下段
C1	655	1 210	NNW—SSE	13.0	1 650		168	
C2	580	1 420	NNW—SSE	21.5	3 180		217	
C3	900	1 270	NNW—SSE	12.0	1 870		122	
C4	610	1 360	NNW—SSE	27.6	2 920		188	
C5	630	1 410	NNW—SSE	23.7	3 350		234	
C6	710	1 420	N—S	25.0	3 580		157	
C7	700	1 690	NNW—SSE	36.7	3 030	1 860	139	67
C8	690	1 680	NW—SE 转 N—S 转 NW—SE	39.2	2 250	2 520	116	76
C9	700	1 650	NW—SE 转 N—S 转 NW—SE	32.4	2 890	1 670	103	75
C10	650	1 680	N—S	36.2	2 320	2 830	97	97
C11	650	1 670	N—S	36.0	1 660	2 240	114	85
C12	700	1 550	NNE—SSW 转 N—S	32.0	2 490	2 720	185	68
C13	990	1 380	NNE—SSW	13.9	1 160	1 760	73	53
C14	800	1 300	NNW—SSE	14.8	1 380	2 180	113	154

注:本文中峡谷的宽度定义为峡谷两侧侧壁脊线最高点之间的水平距离,峡谷的下切深度定义为峡谷底部最低点与峡谷侧壁脊线最高点之间的高差。空白处表示未获得数据。

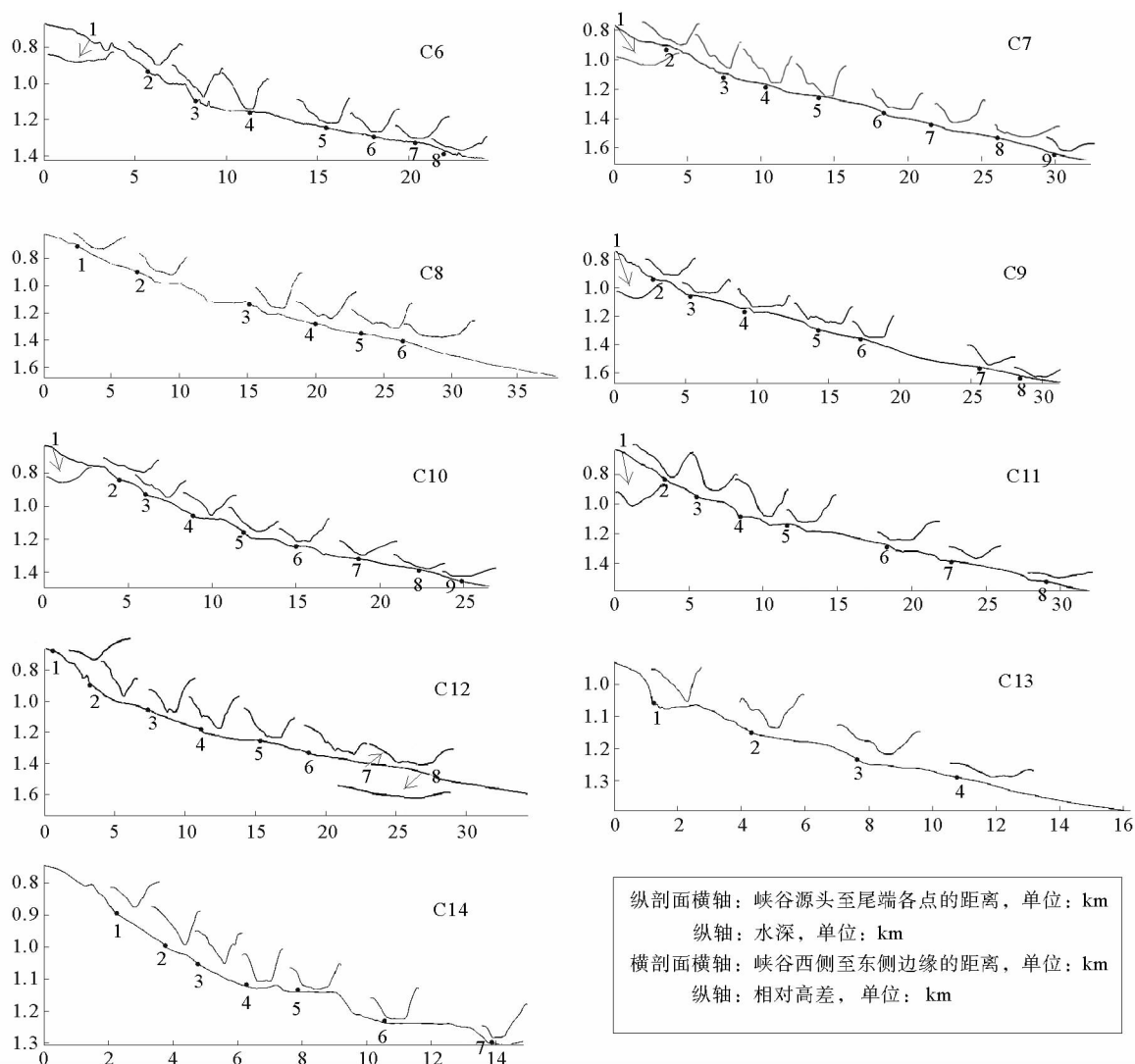


图 3 C6—C14 海底峡谷轴线的纵剖面及上、中、下游各段的横剖面图(轴线及各横剖面位置见图 2)

Fig. 3 Cross sections of C6—C14 (the axes of canyon are shown in Fig. 2)

C7 海底峡谷:谷源起于水深 700 m 附近,末端止于水深 1 690 m 处,全长 36.7 km,NNW—SSE 向展布,地形横剖面呈上“V”下“U”型(图 3 C7)。谷源(位置 1)宽浅,宽达 3 660 m,下切深度约 70 m,两侧谷壁坡度约 3.1° 。峡谷上段(位置 2-5),峡谷宽度、切割深度随峡谷延伸持续增加,位置 5 处,宽度达 3 250 m,下切深度约 231 m。位置 3-4 段峡谷两侧谷壁西缓东陡,并且坡度最大,东侧约 14.8° ,西侧约 8° 。峡谷下段(位置 6-8),地形横剖面呈“U”型,谷底宽度明显增大,位置 7 处,谷底宽度达到最大,约为 1 010 m;峡谷宽度保持稳定,平均约 1 860 m;峡谷下切深度明显减小,位置 6-7 段平均约 88 m,到位置 8 减小到 50 m,峡谷延伸至水深 1 690 m 附近,地形起伏不明显,峡谷消失。

C8 海底峡谷:峡谷头部位于 690 m 水深处,在

1 680 m 水深谷形消失,延伸约 39.2 km,谷身由 NW—SE 向转为近 N—S 向,最终又转为 NW—SE 向直至峡谷消失(图 2)。地形横剖面整体呈“U”型(图 3 C8),峡谷内最深处均靠近峡谷东侧谷壁,谷壁西缓东陡,西侧坡度约 4.6° ,东侧达 7.9° 。位置 3 附近,谷壁两侧坡度都为最大,西侧约 7.2° ,东侧约 12.4° 。峡谷下切深度先变深后变浅,位置 3 处,下切深度最大,约 180 m。峡谷上段(位置 1-3),峡谷宽度平均约 2 247 m,位置 2-3 峡谷宽度最大,约 3 100 m,到下段位置 4 处,峡谷宽度减小到 1 220 m,位置 4 以后,峡谷宽度逐渐增大,增大到约 2 500 m 后,直到位置 6 处峡谷宽度一直保持稳定。

C9 海底峡谷:水深分布范围为 700~1 650 m,长约 32.4 km,整体展布与 C8 平行。地形横剖面整体呈“U”型(图 3 C9),谷壁两侧坡度基本相同,坡度

均约 6.7° 。峡谷上段(位置1-4),宽度不断增大,谷源处峡谷宽约600 m,到位置4,峡谷宽度达到最大,约4 060 m,此处峡谷的下切深度也达到最大,约为142 m。谷壁两侧坡度从位置1-6持续增加,东侧增加到 12.7° ,西侧相对较缓,坡度增加至 7.8° 。峡谷下段(位置5-8),自位置5,峡谷宽度约2 000 m,一直到谷体消失,峡谷宽度基本保持稳定,平均1 670 m。下段的下切深度逐渐减小,位置8水深1 620 m处,下切深度约34 m,左右谷壁坡度在 3° 左右,延伸至水深1 650 m,峡谷基本消失。

C10 海底峡谷:起于水深650 m,止于水深1 680 m处,全长约36.2 km,呈近N—S向展布。峡谷两侧坡度均较缓,但仍有西缓东陡的特征,西侧谷壁平均约 3.8° ,东侧谷壁平均 4.2° ,峡谷横剖面整体呈“U”型(图3 C10)。位置1-5为其上段,平均宽约2 330 m,除谷源(位置1)处峡谷宽度为1 400 m,位置2-5峡谷宽度一直相对稳定,约为2 500 m。上段下切深度平均97 m,位置1-5,下切深度由57 m持续增加到125 m。峡谷下段(位置6-9),峡谷宽度增加,平均2 825 m,位置7处宽度最大,约3 400 m。下段下切深度由141 m递减到27 m,到位置9处,峡谷已无明显的地形起伏。

C11 海底峡谷:与C10近平行排列,形态相近。分布水深范围650~1 670 m,全长36 km。峡谷上段(位置1-4),下切深度逐渐增大,位置4处达到最大,约169 m。上段的峡谷宽度较小,约1 662 m,但峡谷两侧谷壁的坡度较大,西侧平均坡度较大,约 8.5° ,东侧约 7.3° ,位置3-4之间,峡谷的东西坡度最大,东侧达 11° ,西侧达 8.4° 。峡谷下段(位置5-7),随着峡谷的延伸,两侧谷壁坡度、峡谷宽度以及下切深度都逐渐减小。东侧谷壁坡度约 4.4° ,西侧谷壁约 5.1° ,峡谷宽度平均2 235 m,下切深度平均为85 m,在位置7处下切深度仅47 m,东西谷壁坡度减小到约 3° ,地形起伏较小,随之,峡谷逐渐消失。

C12 海底峡谷:水深分布于700~1 550 m,谷身由NNE—SSW向转为近N—S向展布,延伸约32 km,峡谷横剖面逐渐由“V”型过渡为“U”型(图3 C12)。峡谷上段(位置1-5),平均宽约2 488 m,自谷源开始宽度逐渐增加,位置5处,是整条峡谷宽度和谷底宽度最大的地方,峡谷宽约3 480 m,谷底宽达1 190 m。上段下切深度平均约185 m,位置4处下切深度最大,达248 m。谷壁东侧较陡且坡度基本保持不变,平均约 8.8° ,谷壁西侧,坡度平均约 7.2° 。峡谷下段(位置6-8),平均宽约2 730 m,下切

深度比上段明显减小,平均68 m,谷壁坡度也明显变小,西侧平均仅 3.1° ,东侧约 3.6° 。在位置8处,两侧谷壁均约 1° ,下切深度也只有35 m,谷体形态已不明显。C13 海底峡谷:谷源水深最深,在水深990 m附近,延伸至水深约1 380 m处消失,全长约14 km,呈NNE—SSW走向。峡谷宽度由上段(位置1-2)的1 160 m逐渐增宽至下段(位置2-4)的1 760 m。谷源(位置1)地形剖面呈“V”型,下切深度约53 m,东侧谷壁坡度达 8° 。位置2-4,地形横剖面整体呈“U”型,随水深增加,下切深度逐渐减小,到达水深1 300 m左右,下切深度仅30 m,东西两侧谷壁坡度减小到 2.7° ,延伸至水深1 380 m处,谷体基本消失。

C14 海底峡谷:分布于水深800~1 300 m,NNW—SSE向展布,长约14.8 km。峡谷横剖面由上段(位置1-4)“V”型过渡为谷底宽缓的“U”型,位置5-6处,谷底最宽,平均约1 150 m。谷壁东侧坡度明显大于西侧,东侧平均 12.1° ,西侧平均 8.8° ,位置3-4之间,谷壁最陡,最大坡度达 15.7° 。峡谷平面呈喇叭形,上段宽度约1 380 m,下段宽约2 180 m。

3.2 海底峡谷沉积地层特征

作为上陆坡沉积物质向下搬运的主要通道,海底峡谷体系存在一个完整的侵蚀、搬运和再沉积的过程^[7]。受不同陆坡段沉积环境、水动力条件、构造背景差异的影响,不同位置上峡谷及陆坡上的侵蚀或沉积特征也有不同。

谷底轴部地形起伏平缓,坡度由上而下递减(图4A)。0~3300点位于海底峡谷上段西侧谷壁上,有微起伏,可能有滑塌现象。3300~6500点穿过峡谷谷底,其中3300~3980点,谷底纵向坡度较陡,约 1.7° ,无沉积物堆积。3980~6500点之间,峡谷变宽、谷底平坦,坡度减缓,约 1.1° ,这段谷底有少量蚀余堆积,但厚度较小,平均约5 m。6500~9600点,位于峡谷下段浊流堆积扇上,沉积地层呈发散状,沉积厚度自北向南逐渐增大,沉积层最厚约175 m。

陆坡为峡谷间的背脊,由于峡谷侧壁沟槽的汇聚,陆坡一般较狭窄、尖削,地形起伏不平。在深水区有些地方陆坡未被侵蚀,且陆坡上有良好的沉积规律。陆坡起伏不平,布满了不规则的丘状体,丘状体内部层理隐约可见,层理呈波状起伏,有时对称,有时不对称。丘状体下部早期陆坡形态清晰,层理细密,显现出继承性加积和侧向进积

的特点。C9 与 C10 峡谷之间陆坡轴部完整的地震剖面(图 4B), 0~1900 点之间为堆积型陆坡带, 地层反射面连续稳定, 地层结构清晰, 地形平缓, 平均坡度约 1.1° 。1900~9800 点之间是陆坡带部分, 由多个丘状凸起组成, 地形和内部地层都呈剧烈的波状起伏。丘状凸起之间的地层连续性差, 但凸起内部的地层连续性较好, 凸起上下翼地层厚度不等,

一般上部厚、下部薄, 呈不对称状。地层为披覆式叠加而来, 其叠加特征显示凸起沿坡爬升的特点。9800~10700 点之间地层以平行或亚平行反射结构为主, 地层连续性好, 此段沉积物堆积厚度很大, 约为 264 m, 为峡谷浊流扇堆积。在 9 800 点附近, 浊流堆积扇被正断层所错动。

峡谷是浅水沉积物质向深海搬运的通道, 发育

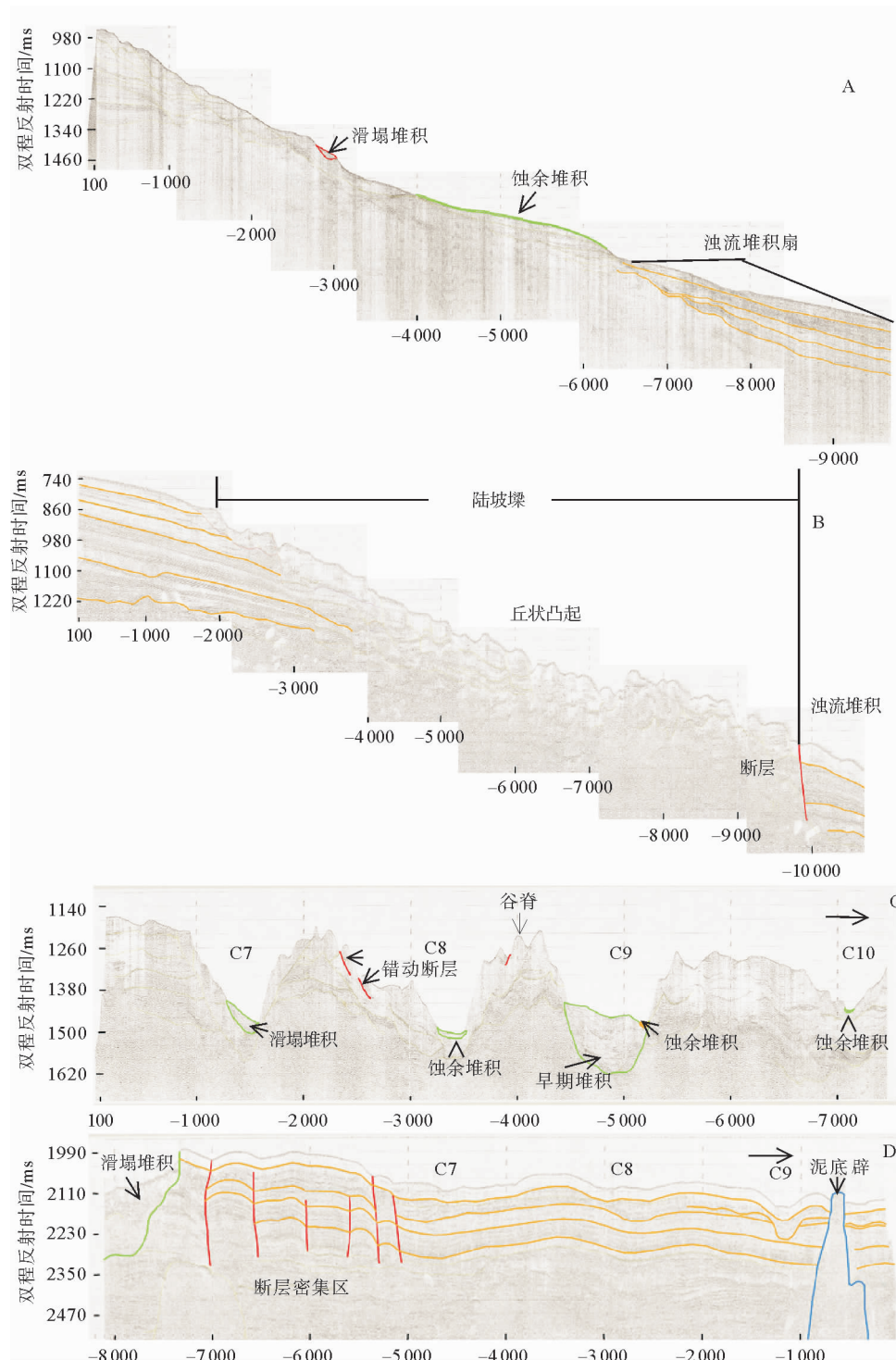


图 4 典型的地震剖面揭示的峡谷截面(测线位置见图 2)A—测线 a; B—测线 b; C—测线 c; D—测线 d
Fig. 4 Seismic profiles showing cross sections of canyons (See Fig. 2 for location of seismic profiles)

于水深较浅处,谷源以侵蚀作用为主,切割了横向连续性较好的沉积地层,不同位置的谷体所处的陆坡环境不同,因此沉积结构有一定的差异性,但总体峡谷谷体以侵蚀作用为主,局部存在沉积作用。图4C中C7—C10海底峡谷地震剖面所处的水深相近,但谷体横剖面形态差异较大,底部呈陡峭的V型或宽缓的U型。C7下切最深约200 m,而C10仅为80 m。侵蚀充填特征在各峡谷之间并不同步。C7以侵蚀下切为主,谷底无浊流堆积,但其西侧谷壁下方靠近谷底的位置有滑塌堆积。C8谷底下方有少量蚀余堆积,堆积层厚度约11.3 m。C9峡谷已被沉积物填充了近一半,大部分应为早期的堆积,厚约132 m,现代浊流通过的谷底堆积很薄,约为6 m。C10两侧谷壁坡度小、下切深度小,谷底有厚约4.5 m的蚀余堆积。峡谷内最深处均靠近其东侧谷壁,谷底沉积内部反射面略向东倾斜,显示峡谷侵蚀在东侧更强。

峡谷下段谷底轴部坡度变缓,大量来自上陆坡的沉积物开始堆积,经过相当长一段地质历史时期,沉积物堆积成厚度很大的谷口扇(图4D)。由于调查区海底峡谷发育密集,各峡谷的谷口扇与周围峡谷谷口扇连为一体。图4D为穿过C7—C9海底峡谷谷口扇的地震剖面,地震剖面表现较均一,平行的内部反射模式,地层侧向连续性好,为披覆式沉积发育。这种连续反射的平行地层,可能是峡谷内部低速浊流形成的沉积物与半深海沉积物互层的变型,代表了低能的沉积环境。谷底扇整体地形起伏平缓,C7、C8峡谷谷体形态几乎消失,C9可以看出峡谷谷底形态,此处下切深度约37 m。C9东侧发现泥底辟构造,高出周边海底约28 m,内部呈空白反射,可能充填有气体。7000~5000点之间发育多条断层,断块体内部地层发生褶皱,断层面两侧下部地层变形比上部变形大,说明断层自发育以来一直处于活动状态。地震剖面8100~7300点刚好从一个海底滑坡的侧壁穿过,滑塌堆积底部地层呈杂乱反射。

4 结论

(1)研究区14条峡谷谷源多分布在水深600~700 m附近,延伸至水深1650 m附近峡谷消失。C1—C6峡谷所处陆坡地形比较简单平整,C7—C14陆坡地形复杂破碎。峡谷上段(约水深1200 m以上),横剖面多呈V型,随峡谷延伸,峡谷宽度、下切深度、两侧谷壁坡度不断增大。峡谷下段(水深

1200~1700 m),横剖面多呈U型,谷底明显增宽,峡谷宽度随峡谷延伸不变或略增大,下切深度逐渐减小,直至谷体消失。峡谷两侧谷壁发育不对称,出现西缓东陡的特征,且谷底最深处紧靠东侧谷壁。

(2)峡谷上段谷底坡度较大,以侵蚀下切为主,无沉积物堆积或有少量蚀余堆积,地层反射面略向东倾斜,水流对东侧谷壁的侵蚀较强。下段谷底位于浊流堆积扇上,沉积厚度较大,地层呈平行或亚平行的反射模式,侧向连续性好,有些地方发育密集的断层和滑塌构造。谷脊布满了丘状凸起,地层结构揭示出其沿坡爬升的趋势,有的凸起下方有沿断面向谷底方向的错动。

(3)白云凹陷经历了陆内湖泊、浅海陆架和陆坡环境,使白云凹陷由陆相—滨岸沉积转为陆坡深水沉积,并发育了一套深水扇体系。13.8 MaBP时期,在白云凹陷的北侧及西部的断裂区发育了具有强烈下切特征的峡谷水道,在侵蚀峡谷侧向迁移和垂向叠加的过程中,发育了大量重力流沉积体系,大量的沉积物向南部开阔区域继续搬运并堆积下来^[19]。海底峡谷自发育以来,经历了多次构造环境的改变,峡谷体系地貌形态和沉积结构有很强的相似性,不同时期,峡谷体系的发育范围、充填及迁移特征也都有显著的变化,因此,峡谷的形成整体受构造格局的控制。

参考文献 (References)

- [1] 韩喜彬,李家彪,龙江平,等.我国海底峡谷研究进展[J].海洋地质动态,2010,26(2):41-48. [HAN Xibin, LI Jiabiao, LONG Jiangping, et al. Development of research on submarine canyon in China[J]. Marine Geology Letters, 2010,26(2):41-48.]
- [2] 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):86-93. [SU ming, LI junliang, JIANG tao, et al. Morphological features and formation mechanism of central canyon in the Qiongdongnan basin, northern South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2009,29(4):86-93.]
- [3] 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,2009,27(4):460-468. [ZHAO Yuexia, LIU Baohua, LI Xishuang, et al. Distributions of different submarine canyons on the East China Sea slope and their tectonic response[J]. Advances in Marine Science, 2009,27(4):460-468.]
- [4] Pickering K, Coleman J, Cremer M, et al. A high sinuosity, laterally migrating submarine fan channel-levee overbank: Result from DSDP Leg96 on the Mississippi Fan, Gulf of Mexico [J]. Marine and Petroleum Geology, 1986, 3(1):3-

- 18.
- [5] 龚再升,李思田,谢泰俊,等. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京:科学出版社,2004:30-36. [GONG Zaisheng, LI Sitian, XIE Taijun, et al. Dynamic Research of Oil and Gas Accumulation in Northern Marginal Basins of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 30-36.]
- [6] Peter T, Harris, Tanya White. Globe distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins [J]. Marine Geology, 2011, 285:69-86.
- [7] 赵月霞,刘保华,李西双,等. 东海陆坡海底峡谷—扇体系沉积特征及物质搬运[J]. 古地理学报,2011,13(1):119-126. [ZHAO yuexia, LIU baohua, LI xishuang, et al. Sedimentary characters and material transportation of submarine canyon-fan systems in slope of the East China Sea[J]. Journal of Palaeogeography, 2011,13(1):119-126.]
- [8] 刘保华,郑彦鹏,吴金龙,等. 台湾岛以东海域海底地形特征及其构造控制[J]. 海洋学报,2005,27(5):82-91. [LIU Baohua, ZHENG Yanpeng, WU Jinlong, et al. The topographical characteristics in the area off eastern Taiwan island and their tectonic implication[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(5):82-91.]
- [9] 陈冠宇. 台湾西南外海之构造与地形特征及澎湖海底峡谷演化[D]. 中坜市:国立中央大学,2006. [CHEN Guanyu. Structure and landform characteristics of Taiwan's southwest coast and evolution of Penghu submarine canyon[D]. Jhongli City: National Central University, 2006.]
- [10] 崔洁,何家雄,周永章,等. 珠江口盆地白云凹陷天然气成因及油气资源潜力分布[J]. 天然气地球科学,2009,20(1):125-130. [CUI Jie, HE Jiaxiong, ZHOU Yongzhang, et al. Origin of nature gas and resource potential of oil and gas in Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009,20(1):125-130.]
- [11] 孙龙涛,周蒂,陈长民,等. 珠江口盆地白云凹陷断裂构造特征及其活动期次[J]. 热带海洋学报,2008,27(2):25-31. [SUN Longtao, ZHOU Di, CHEN Changmin, et al. Fault structure and evolution of Baiyun Sag in Zhujiang River Mouth Basin[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2008,27(2):25-31.]
- [12] 姚伯初,万玲,刘振湖,等. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J]. 地球科学,2004,29(5):543-549. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu, et al. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Earth Science, 2004,29(5):543-549.]
- [13] 朱伟林,张功成,高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油学报,2008,29(1):1-9. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, Gao Le. Geological characteristics and exploration objectives of hydrocarbons in the northern continental margin basin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008,29(1):1-9.]
- [14] 朱伟林,张功成,杨少坤,等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2007:3-70. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, YANG Shaokun, et al. The Gas Geology of Northern Margin of South China Sea[M]. Beijing: Oil Press, 2007:3-70.]
- [15] 柳保军,申俊,庞雄,等. 珠江口盆地白云凹陷珠海组浅海三角洲沉积特征[J]. 石油学报,2007,28(2):49-56. [LIU Baojun, SHEN Jun, PANG Xiong, et al. Characteristics of continental delta deposits in Zhuhai Formation of Baiyun Depression in Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(2):49-56.]
- [16] 孙杰,詹文欢,丘学林. 珠江口盆地白云凹陷构造演化与油气系统的关系[J]. 海洋地质与第四纪地质,2011,31(1):101-107. [SUN Jie, ZHAN Wenhuan, Qiu Xuelin. Relationship between tectonic evolution and petroleum systems in Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin[J]. Marine Geology and Quaternary Geology,2011,31(1):101-107.]
- [17] 李平鲁. 珠江口盆地构造结构及演化[J]. 中国海上油气(地质),1989,3(1):11-18. [LI Pinglu. Tectonic structures and evolution of the Zhujiangkou Basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 1989,3(1):11-18.]
- [18] 陈长民,施和生,许仕策,等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社,2003. [CHEN Changmin, SHI hesheng, XU Shice, et al. The conditions of hydrocarbon accumulation of the tertiary petroleum system in the Pearl River Mouth Basin[M]. Beijing: Science Press, 2003.]
- [19] Xie X N, Muller R D, Ren J Y, et al. Stratigraphic architecture and evolution of the continental slope system in offshore Hainan, northern South China Sea [J]. Marine Geology, 2008, 247:129-144.

CANYON MORPHOLOGY AND SEDIMENTS ON NORTHERN SLOPE OF THE BAIYUN SAG

ZHU Lin¹, FU Mingzuo¹, LIU Lejun¹, LI Jiagang², GAO Shan¹

(1. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China;

2. Petroleum Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: Detail interpretation of morphology and stratigraphic structure was made in this paper for the bottom deposits in the Baiyun Sag, based on the multi-beam bathymetric data and multi-channel seismic profiles. We recognized 14 submarine canyons of 12~39.2 km long and 1.1~3.4 km wide distributed in NNW—SSE or nearly N—S directions in the water depth of 500~1 700 m. The maximum incision is up to 234m in depth. The eastern wall of the canyons is usually steeper than the western and the deepest part of the canyon is close to the eastern wall. There is none or only a small amount of sediments occurred in the upper segments of the canyons and the surface of sediments, if any, tilted slightly eastward. However, the lower segments of canyons usually occur upon turbidite fans with parallel or sub-parallel reflection. Faults and slumping structures are densely developed in some places. Convex structures are commonly observed on canyon ridges and the internal structure of the deposits indicates a climbing up trend along slope.

Key words: slope; submarine canyon; the Baiyun Sag