

南海北部深水区荔湾凹陷构造演化 及其石油地质意义

纪沫, 张功成, 赵志刚, 杨海长, 曾清波

JI Mo, ZHANG Gong-cheng, ZHAO Zhi-gang, YANG Hai-zhang, ZENG Qing-bo

中海油研究总院, 北京 100027

CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China

摘要:荔湾凹陷北与白云凹陷相邻,南与双峰盆地(南海西北次海盆)相接,发育于洋陆过渡边界,具有独特的结构构造特征。选取荔湾凹陷为研究对象,在 3D 地震资料解释的基础上,以断裂特征分析厘定凹陷性质、构造古地貌恢复解析凹陷结构,进而指出古地貌恢复和构造演化对油气勘探的影响。研究获得三方面的创新性认识:①荔湾凹陷为洋陆过渡壳上发育的断拗,断拗作用占主导地位;②32Ma 的底辟作用将荔湾凹陷改造为“四洼三凸”的构造格局,恩平组沉积期凹陷北部是一个连通的洼陷;③恩平组沉积期连通洼陷的古地貌有利于三角洲(烃源岩)的发育,背斜型圈闭的定型受控于 32Ma 的底辟作用,是荔湾凹陷油气勘探的有利目标。

关键词:南海北部;深水区;荔湾凹陷;构造演化;底辟作用;断拗

中图分类号:P542; P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2014)05-0723-10

Ji M, Zhang G C, Zhao Z G, Yang H Z, Zeng Q B. The tectonic evolution of Liwan sag in the deep-water area of the South China Sea and its oil geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(5):723-732

Abstract: The Liwan sag, neighboring Baiyun sag in the north and Shuangfeng basin in the south (the northwest sub-basin of the South China Sea), has unique structural characteristics. Because of lack of data, the detailed research on the structural geology of the Liwan sag has not yet been conducted. On the basis of 3D seismic data, the authors chose the Liwan sag (an uncharted area) as the study object, determined the properties based on the analysis of fault characteristics, restored the structure by reconstruction of paleogeomorphology, and finally pointed out the influence of structural evolution and paleogeomorphologic reconstruction on petroleum exploration. Some conclusions have been reached: ①the Liwan sag could be regarded as a sag fault-downthrow basin in continent-ocean transition; ②the structural framework of "4 sags and 3 swells" was rebuilt by the diapir at 32Ma, and there was a connected depression in the sedimentary period of the Enping Formation; ③the paleogeomorphology of the connected depression was beneficial to the development of the hydrocarbon source rock of delta coal measures, and the anticlinal traps, which were developed by the diapir at 32Ma, can be considered to be the favorable exploration targets.

Key words: northern South China Sea; deep-water area; Liwan sag; structural evolution; diapirism; sag fault-downthrow basin

21 世纪以来,世界范围内深水地区油气勘探和实践不断取得重大突破,墨西哥湾、巴西坎波斯湾盆地和西非三大深水油气勘探的热点地区,以及俄罗斯、挪威和东南亚的深水地区不断发现大型油气田,深水盆地已成为当今全球油气勘探的热点区^[1-2]。

2006 年 6 月,水深 1480m 的 LW3-1-1 钻探获得了具有里程碑意义的深水重大天然气发现,标志着中国深水勘探进入新的历史阶段。深水勘探相继获得了流花 34-2 和流花 29-1 两个商业性油气发现,揭示了南海北部大陆边缘珠江口盆地良好的油气勘

收稿日期:2014-01-24;修订日期:2014-04-04

资助项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(编号:2009CB219400)和国家科技重大专项(编号:2011ZX05025)

作者简介:纪沫(1982-),女,博士,工程师,从事南海北部深水区构造地质研究。E-mail:jimo@cnooc.com.cn

探前景^[1-3],并以其独特的地质背景、优越的天然气成藏条件成为中国潜在的海上油气富集区,引起国内外学者的广泛关注。

研究表明,南海深水盆地与世界上典型的被动陆缘深水盆地在区域构造背景和构造属性上具有明显差异,新生代南海大陆边缘在大地构造位置上处于欧亚板块、太平洋板块和印度—澳大利亚板块三大板块的衔接部位,受控于南海扩张、红河断裂带走滑和菲律宾海板块聚敛的共同作用,发育珠江口、琼东南等多个沉积盆地,其构造属性和成盆机制具有特殊性^[1-2,4-6]。深水油气勘探的巨大风险和高经济门槛决定了勘探早期的石油地质基础研究尤为关键,特别是与深水盆地结构构造相关的构造特征已成为亟待解决的重要基础地质科学问题^[3-4,7-10]。研究表明,珠江口盆地深水区发育白云凹陷、荔湾凹陷、开平凹陷、顺德凹陷、鹤山凹陷和双峰盆地,分别归属于不同的构造单元,白云凹陷、开平凹陷和顺德凹陷属于珠江口盆地珠二坳陷。20世纪90年代,前人^[11-13]对开平凹陷油气聚集条件和勘探目标开展研究工作;近年来,作为深水油气勘探的重要目标区域,对白云凹陷开展了一系列研究工作,包括结构特征、构造演化、沉积充填、油气系统等^[14-21]。双峰盆地即南海西北次海盆,近年来的研究主要集中在构造演化、扩张时限、沉积充填、物源供给模式、地壳结构、扩张机制等方面^[22-30]。荔湾凹陷和鹤山凹陷发育于洋陆过渡边界的特殊构造部位,基础地质资料匮乏,对其凹陷结构、构造演化、沉积充填、油气富集条件等基础地质问题的研究尚属空白。本文选取荔湾凹陷这一全新领域作为研究对象,在3D地震资料精细解释的基础上,以通过断裂特征分析厘定凹陷性质和通过构造古地貌恢复解析凹陷结构为主要工作思路,分析古地貌恢复和构造演化对油气勘探的影响。

1 区域地质概况

南海北部深水区以其巨大的油气远景倍受国内外石油公司的重视^[4,8,31-35]。珠江口盆地深水区位于珠二坳陷及其以南区域,包括白云凹陷、荔湾凹陷、开平凹陷、顺德凹陷、鹤山凹陷和双峰盆地,北以番禺低隆起、神狐隆起与珠一坳陷、珠三坳陷相隔,东与东沙隆起相邻,西以神狐隆起为界;整

体呈NE-SW向展布,跨越大陆边缘的陆坡—深海平原区,大部分地区发育巨厚的新生代沉积物,具有良好的油气资源前景^[36]。珠江口盆地深水区的白云凹陷、荔湾凹陷、开平凹陷、顺德凹陷、鹤山凹陷和双峰盆地,按构造单元可划分为3类:①珠二坳陷凹陷带,包括白云凹陷、开平凹陷和顺德凹陷;②洋陆过渡边界凹陷带,包括荔湾凹陷和鹤山凹陷;③洋壳盆地,即双峰盆地(南海西北次海盆)。珠江口盆地深水区在大地构造位置上处于欧亚板块、太平洋板块和印度—澳大利亚板块三大板块的衔接部位,受3个板块相互作用的影响。构造演化动力学背景包括:①晚白垩世—古新世太平洋板块向欧亚板块俯冲速率快速衰减引发的伸展作用,形成以NE向为主的火山断陷盆地;②始新世—早渐新世太平洋—欧亚板块相互作用引发的伸展作用,被印度—欧亚板块碰撞活动的快速左旋走滑作用叠加,导致南海北部大陆边缘的陆壳裂解;③晚渐新世—中中新世早期的南海海底扩张,32~26Ma海底扩张主要发生在西北次海盆,26~24Ma扩张脊向南跃迁,24~15.5Ma东部次海盆和西部次海盆同时扩张,15.5Ma海底扩张基本结束^[37];④晚中新世—第四纪海底热沉降期间的构造叠加活动。

荔湾凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷以南(图1),北与白云凹陷相邻,南与双峰盆地(南海西北次海盆)相接,凹陷面积3500km²,古近系最大厚度近5000m,水深超过2000m,属于超深水区。荔湾凹陷是以新生代沉积为主的凹陷,凹陷内沉积了恩平组、珠海组、珠江组、韩江组、粤海组、万山组—第四系。荔湾凹陷发育于洋陆过渡边界的特殊构造位置,具有特殊的几何学展布特征和凹陷结构。与珠一坳陷、珠二坳陷和珠三坳陷总体呈NE-SW向的展布特征不同,荔湾凹陷呈近正方形的展布特征(图1)。不同于传统意义上的断陷型盆地,荔湾凹陷不发育典型的控凹断层,整体呈现“四洼三凸”的构造格局(图1)。因此,如何解释荔湾凹陷特殊的几何学特征和多凸多洼的构造格局成为荔湾凹陷结构分析的难点。

2 构造特征

如荔湾凹陷构造纲要图(图1)所示,荔湾凹陷边界部位以斜坡为主,主要断层发育于凹陷的内

部,仅局部控制洼陷的沉积和沉降中心。凹陷可划分为北洼、中洼、东洼和南洼。

2.1 断裂与凹陷性质

通过对荔湾凹陷主要断层的详细分析,可将其划分为以下2类。

I类断层发育于凹陷边界部位,以古近纪早期活动为主,控制恩平组沉积。平面延伸较长(20~55km),剖面切穿恩平组、珠海组和珠江组,发育时间长,垂直断距较大(940~3300ms)。I-1断层走向近SN,倾向W,水平延伸长度为40km,最大垂直断距2100ms;是荔湾凹陷与南部隆起带的东边界,向南延伸转变为斜坡,地震剖面显示断层上盘的恩平组在断层根部厚度明显加厚,I-1断层控制了荔湾凹陷东洼的沉降中心和沉积中心(图1、图2中AA'剖面)。I-2断层平面展布呈S型,由西段的NW-SE向转为中段的NE-SW向,再转为东段的NWW-SEE向,倾向也具有分段性,西段为SW向、中段为SE向、东段为SSE向;水平延伸长度为32km,最大垂直断距3300ms。I-2断层是荔湾凹陷与南部隆起带的西北部边界,向东延伸转变

为斜坡,地震剖面显示断层下盘到白云凹陷之间为地震模糊带,恩平组和珠海组向断层逐渐减薄,断层上盘恩平组在断层根部明显加厚,珠海组和珠江组厚度变化不明显。推测I-2断层在恩平组沉积时期具有较强的活动性,地震模糊带可能与南部隆起带主动抬升的岩浆底辟活动有关(图1、图2中BB'剖面)。

II类断层发育于凹陷内部,延伸短、断距较I类断层小,断层继承性发育,平面延伸15~40km,剖面上切穿恩平组和珠海组,垂直断距230~1600ms;断层走向无规律性,推测为断层初始发育期,即共轭断层继承发育形成的断层。值得注意的是,荔湾凹陷的II类断层多与底辟构造相伴生。II-1断层发育于荔湾凹陷北洼中部,走向以EW向为主,倾向S,水平延伸20km,最大垂直断距1670ms。北洼古近系在II-1断层根部厚度最大,II-1断层控制了荔湾凹陷北洼的沉降中心和沉积中心(图1、图2中BB'剖面)。II-4断层发育于荔湾凹陷的中洼中部,走向以NE-SW向为主,倾向SE,水平延伸16km,最大垂直断距1280ms。

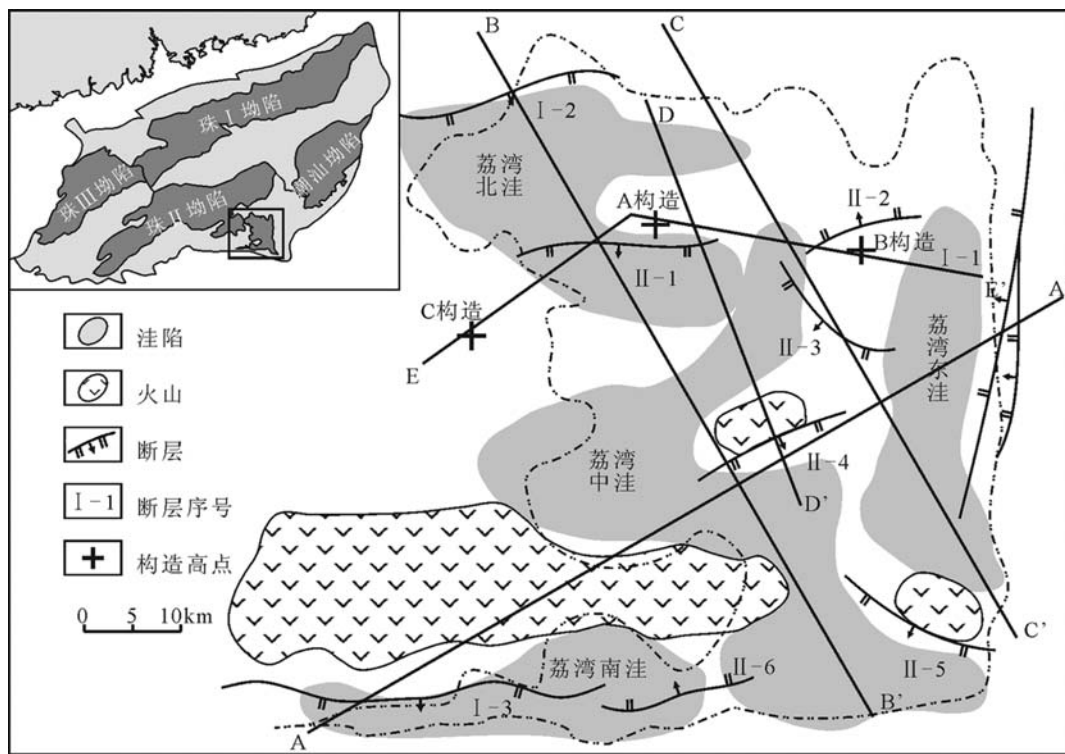


图1 荔湾凹陷构造纲要图

Fig. 1 Sketch geological map of Liwan sag

中洼古近系在 II-4 断层根部厚度最大, II-4 断层控制了荔湾凹陷中洼的沉降中心和沉积中心(图 1、图 2 中 AA' 剖面)。

综上所述,荔湾凹陷断层平面走向规律性不明显(图 1),发育近 SN 走向的 I 类断层, NW-SE 和

NE-SW 走向的 II 类断层,以边界控凹断层发育不充分,断裂带主要发育于盆地中部。

2.2 凹陷结构

荔湾凹陷不发育典型的控凹断层,整体呈现“四洼三凸”的构造格局。荔湾凹陷地处珠江口盆

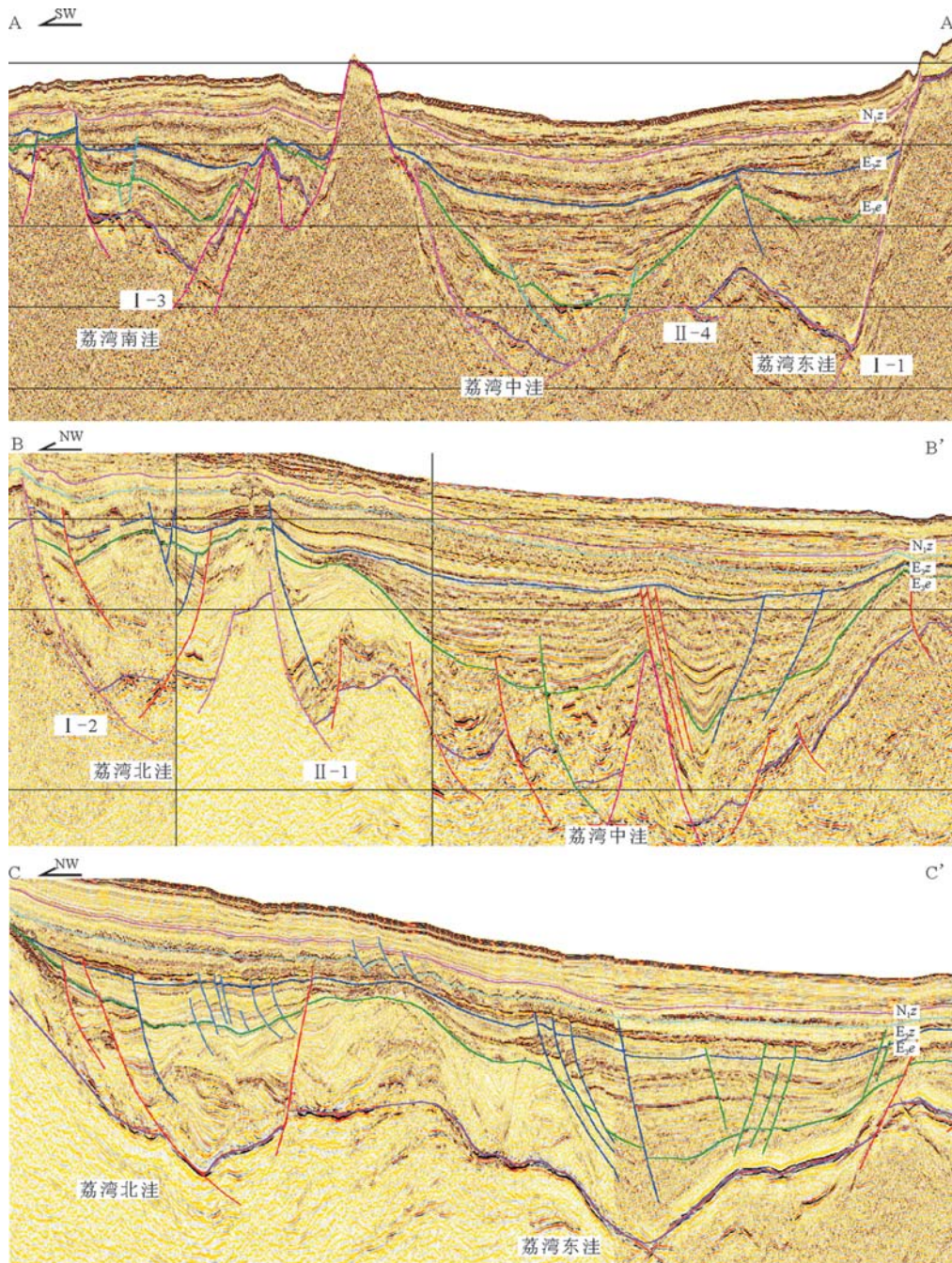


图2 荔湾凹陷结构构造地震剖面

Fig. 2 Seismic sections of Liwan sag

I-1—断层序号; N₂—下中新统珠江组; E₂—渐新统珠海组; E_e—渐新统恩平组

地南缘,紧邻南海西北次海盆,发育于相对薄弱的洋陆过渡壳部位,决定了荔湾凹陷的构造演化应以断坳作用为主,并伴随大规模的底辟(岩浆底辟和泥底辟)活动。荔湾东洼、中洼和南洼以岩浆底辟构造分隔,北洼与中洼以泥底辟构造分隔。

荔湾东洼受控于近SN走向的I-1断层,总体呈半地堑特征,古近系最大厚度发育于I-1断层根部,是东洼的沉降中心和沉积中心(图1、图2中AA'剖面)。洼陷以古近系2700m的等厚线为界,面积约380km²。

荔湾中洼整体表现为由岩浆底辟所围限的碟形坳陷(图1、图2中BB'剖面),断层对中洼的控制作用不明显,古近系最大厚度发育于中洼的中南部,是中洼的沉降中心和沉积中心。洼陷以古近系3000m的等厚线为界,面积可达855km²。

荔湾南洼受控于近NWW-SEE走向的I-3断层,断层倾向SSE,荔湾南洼整体表现为不对称的地堑结构,古近系最大厚度发育于I-3断层根部,是南洼的沉降中心和沉积中心(图1、图2中AA'剖面)。洼陷以古近系2200m的等厚线为界,面积约515km²。

荔湾北洼受控于NWW-SEE走向的I-2断层和II-1断层,是典型持续活动断裂控制的洼陷,洼陷被泥底辟构造分隔为南北两部分,古近系最大厚度发育于II-1断层根部,成为北洼的沉降中心和沉积中心(图1、图2中BB'剖面)。洼陷以古近系2500m的等厚线为界,面积约505km²。

综上所述,荔湾凹陷平面结构表现为“四洼三凸”的构造格局,剖面结构为中间深、两边浅的碟形特征(图2中CC'剖面),后被底辟作用所改造,属洋陆过渡壳上发育的断坳。

3 构造演化

3.1 底辟构造

对于荔湾凹陷底辟构造的识别从基本概念出发。密度较小的高塑性低粘度的岩石(如岩盐、石膏或泥岩等)向上流动,拱起甚至刺穿上覆岩层所形成的穹隆或蘑菇状构造,简称底辟。以泥质为核的底辟称为泥质底辟,又称泥火山,泥质中的甲烷气体在泥火山形成中起了重要作用;由岩浆上拱并侵入围岩而形成的称岩浆底辟。

对比紧邻荔湾凹陷北侧的白云凹陷可知,白云

凹陷地震剖面显示大量且种类繁多的底辟构造,按其发育形式可分为流体(泥岩)底辟、气烟囱、泥火山、流体泄漏通道、海底麻坑等类型,分别代表了热流体和低密度岩石塑性上拱—拱穿—塌陷等不同演化阶段和不同幅度底辟作用的结果^[18,38-40]。地震剖面显示,荔湾凹陷发育典型的岩浆底辟作用,除垂向侵入岩株外,还发育岩席、岩床等(图3-a、b)。同时,也发育高幅度中—强能量泥底辟,同相轴下拉一般认为是热流体特别是天然气充注造成低速异常所致(图3-b)。

重磁资料、速度资料和地震反射振幅异常是区分泥底辟和岩浆底辟的重要标志,荔湾凹陷底辟构造在重磁资料、速度资料和地震反射振幅异常中具有良好的空间匹配关系。平面上,泥底辟对应低重磁和地震反射弱振幅异常区,岩浆底辟对应高重磁和地震反射强振幅异常区(图3-c);剖面上,泥底辟对应低速区,岩浆底辟对应高速区(图3-d、e)。

综上所述,荔湾凹陷至少可识别出2类底辟构造,即泥底辟和岩浆底辟,这些底辟构造,将荔湾凹陷改造为“四洼三凸”的构造格局。

3.2 构造演化历史

确定底辟作用的活动时限是荔湾凹陷构造演化分析中首先需要解决的问题。通过岩浆底辟和泥底辟的速度剖面给出了二者之间具有生成关系的直接证据,岩浆底辟的斜向上侵,与深大断裂相沟通,诱发了泥底辟作用的上拱就位(图3-d、e),即岩浆底辟和泥底辟具有相同的活动时限。地震剖面可见泥底辟构造顶部发育清楚的地层削蚀和上超现象,恩平组顶部大量削蚀,珠海组上超于削蚀面之上(图3-b、d),由此推断底辟作用活动时限为恩平组顶界面。

恩平组的时代归属问题在珠江口盆地地层划分与对比中备受中外地质学家的关注。BY7-1-1井的浮游有孔虫和超微化石分析表明,恩平组时代应归属渐新世^[42]。珠江口盆地地层与构造演化对比显示,恩平组顶面对应南海运动,即南海海盆的初始扩张^[43]。迄今为止,针对南海海盆扩张历史的研究几乎全部依据磁异常条带的分布和对比^[44]。Avraham等^[45]首次指出南海深海海盆存在EW向条带状磁异常。Taylor等^[46]初步鉴别出东部次海盆区磁异常条带的年龄,并将这套条带状磁异常区解释为海底扩张的反映,即根据国际地磁极性年表识别

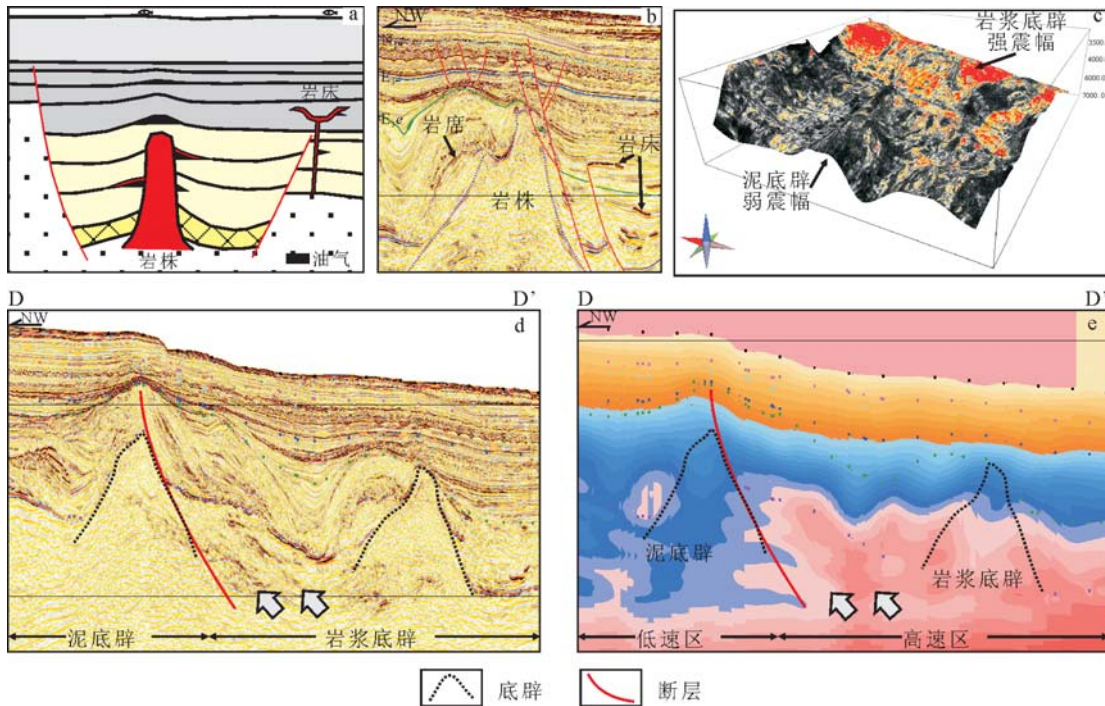


图3 荔湾凹陷底辟构造

Fig. 3 Diapir structure in Liwan sag

a—岩浆底辟模式图^[41]; b—荔湾凹陷岩浆底辟构造地震剖面; c—荔湾凹陷基底振幅异常立体图; d—荔湾凹陷底辟构造地震剖面; e—荔湾凹陷底辟构造速度剖面。
 N₂z—下中新统珠江组; E₂z—渐新统珠海组; E₂e—渐新统恩平组

为5d-11号磁异常,认为海底扩张活动发生在中渐新世—早渐新世(32~17Ma)。Briais等^[37]还识别出磁异常5C,认为南海海盆是32~16Ma期间扩张形成的,并指出11-6C号磁异常的确是呈EW向展布,但6-5C号磁异常略呈NE-SW向展布,因而扩张可分为32~21Ma和20~16Ma两个阶段。Barckhausen等^[47]利用新地磁数据认为扩张发生于31~20.5Ma。李家彪等^[48]对高分辨率重、磁测网数据的分析获得南海扩张时限为33.5~16.5Ma。李春峰等^[49]对南海海陆过渡边界进行确定,将南海扩张开始时间重新限定为32Ma。南海ODP1148站是南海大洋钻探中取心最长、年代最老的站位,其深海沉积物地球化学分析结果显示,早渐新世(32.8~30Ma)时期,沉积物微量元素Zr/Hf、Th/Sc、La/Sm、Nb/Ta值与SiO₂含量存在一次大的跳跃,沉积速率高、沉积物粒度变化大,是南海海盆扩张初期的沉积响应^[50]。综上所述,南海海盆裂开的时限应为32Ma,荔湾凹陷紧邻南海西北次海盆,其底辟作用正是

这一事件的响应。

荔湾凹陷紧邻南海西北次海盆,其构造演化受控于南海海盆扩张的一系列构造事件。因此,结合南海海盆扩张的主要构造事件,荔湾凹陷构造演化可划分为3个阶段(图4):①断坳期,即恩平组沉积期,太平洋—欧亚板块相互作用引发的伸展作用,被印度—欧亚板块碰撞活动的快速左旋走滑作用叠加,导致南海北部大陆边缘的陆壳裂解,荔湾凹陷发育大规模底辟活动,底辟作用将凹陷分隔为多凸多洼的构造格局;②坳陷期,即珠海组沉积期,随着南海西北次海盆的打开,荔湾凹陷珠海组沉积中心向南迁移;③沉降期,从珠江组沉积期开始,伴随23.8Ma洋中脊的向南跃迁,荔湾凹陷进入沉降期,构造演化以沉降作用为主。

4 油气地质意义

烃源岩研究是区域勘探的基础和含油气系统

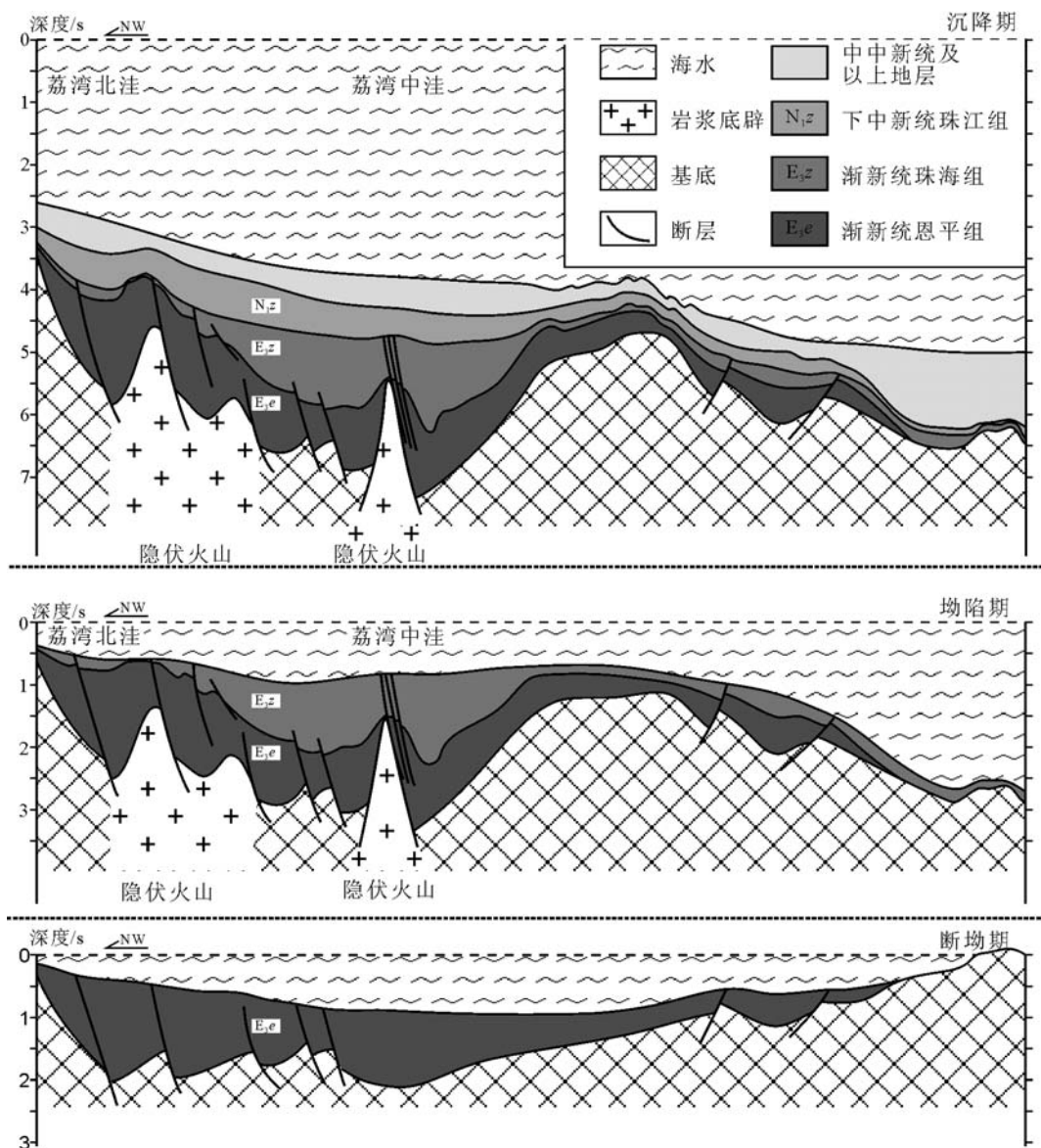


图 4 荔湾凹陷构造演化模式

Fig. 4 Tectonic evolution model of Liwan sag

研究的首要因素,荔湾凹陷烃源岩(恩平组)的发育主要受断拗期构造控制,荔湾凹陷现今基底地貌特征(图5-a)被底辟构造所改造,不能代表原始沉积时期的地貌特征。因此,本文在建立荔湾凹陷主要构造期构造演化模式的基础上,对凹陷形成时期的构造古地貌进行恢复。以恩平组末期底辟作用大规模发育为界限,通过趋势外延法和构造恢复,获得恩平组沉积时期古地貌恢复基底构造图(图5-b)。荔湾凹陷恩平组沉积时期,北洼、

东洼和中洼北部是一个连通的洼陷。多个面积不足 500km²的小洼陷恢复为面积 1700km²的洼陷(图5)。荔湾凹陷恩平组沉积时期这种平缓的古地貌有利于大型沉积体,如三角洲(煤系烃源岩)的发育,将荔湾凹陷三角洲边界与古地貌恢复图叠合,可见三角洲沉积范围与北部连通洼陷具有一致的分布范围(图5-b)。

圈闭是油气运移和保存的最终场所,是油气聚集的基本地质单元。荔湾凹陷圈闭的定型受控

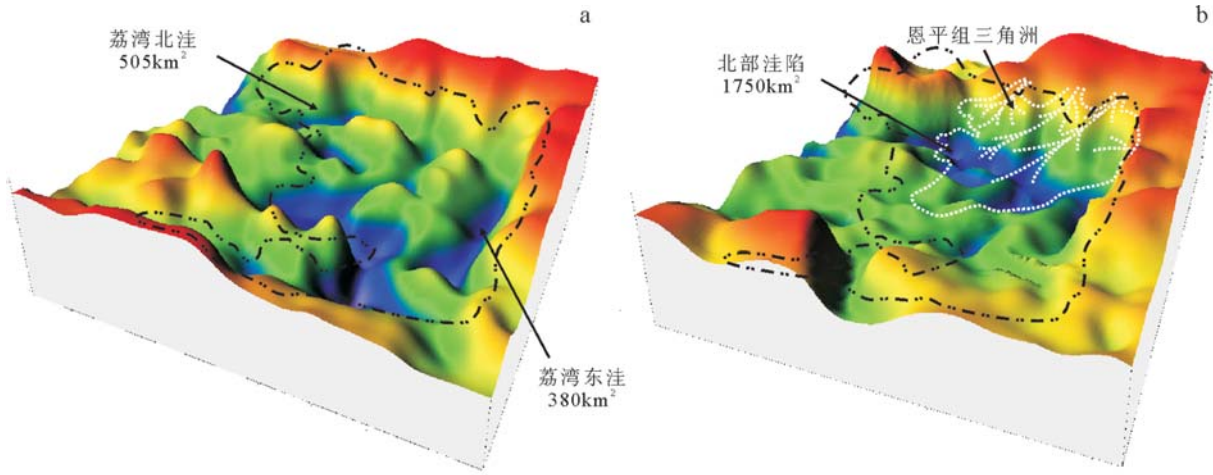


图5 荔湾凹陷基底构造恢复对比

Fig. 5 Comparison of current and paleostructure restoration basements
a—荔湾凹陷基底构造立体图;b—荔湾凹陷基底构造古构造恢复立体图

于恩平组沉积末期的底辟作用。本文以同处于凹陷北部恩平组三角洲(烃源岩)发育区的荔湾A构造和荔湾B构造为例进行讨论。荔湾A构造位于荔湾凹陷西北部,是一个构造形态完整的底辟背斜型圈闭,主要形成于恩平组末期和珠海组早期,定型于珠江组晚期。泥底辟的上拱作用,使其上覆的恩平组、珠海组和珠江组变形成为背斜型圈闭。荔湾B构造位于荔湾凹陷东北部,整体为一被小断层复杂化的背斜;主要形成于恩平组末期和珠海组早期,定型于珠江组晚期。岩浆底辟的上拱作用,使其上覆的恩平组、珠海组和珠江组发生变形,同时被断层改造成为复杂化的背斜型圈

闭。对比已钻的荔湾C构造,荔湾A构造和B构造除同样具有振幅异常外,在烃源岩配置关系、圈闭类型、圈闭面积、闭合幅度等方面均具有更大优势。

5 结论

荔湾凹陷发育于洋陆过渡边界的特殊构造部位,基础地质资料匮乏,对其凹陷结构、构造演化、沉积充填、油气富集条件等基础地质问题的研究尚属空白。本文选取荔湾凹陷这一全新领域为研究对象,在3D地震资料精细解释的基础上,对断裂特征、凹陷性质和构造古地貌恢复进行详细解析,对

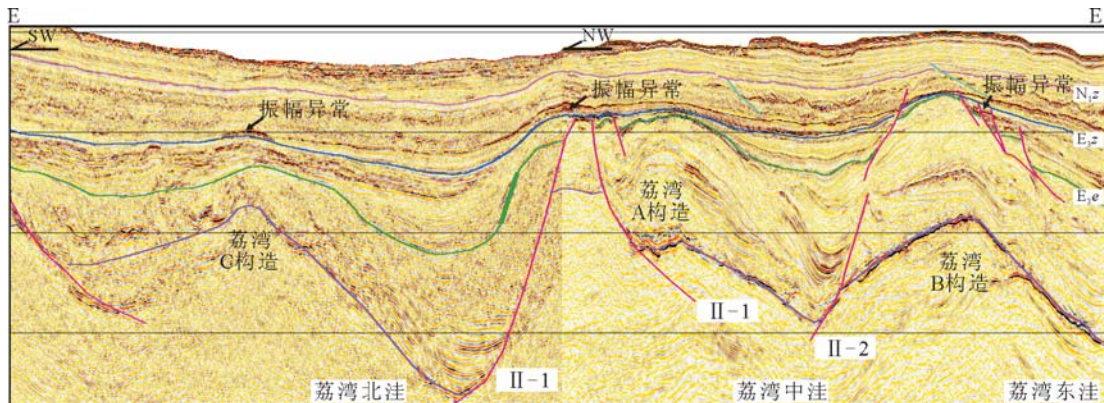


图6 过荔湾A构造、B构造和C构造地震剖面

Fig. 6 Seismic section through Liwan A trap, B trap and C trap
I-1—断层序号;N_{2z}—下中新统珠江组;E_{2z}—渐新统珠海组;E_{2e}—渐新统恩平组

荔湾凹陷构造演化及其石油地质意义的研究获得 3 个方面的创新性结论。

(1)荔湾凹陷属洋陆过渡壳上发育的断拗,断拗作用占主导地位。

(2)32Ma 的底辟作用将荔湾凹陷改造为“四洼三凸”的构造格局,恩平组沉积期凹陷北部是一个连通的洼陷。

(3)恩平组沉积期连通洼陷的古地貌有利于三角洲(烃源岩)的发育,背斜型圈闭的定型受 32Ma 底辟作用控制,是荔湾凹陷油气勘探的有利目标。

参考文献

- [1]朱伟林,钟锴,李友川,等.南海北部深水区油气成藏与勘探[J].科学通报,2012,57(20):1833-1841.
- [2]张功成,米立军,屈红军,等.全球深水盆地群分布格局与油气特征[J].石油学报,2011,32(3):369-378.
- [3]雷超,任建业,李绪深,等.琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力[J].石油勘探与开发,2011,38(5):560-569.
- [4]朱伟林.南海北部深水区油气勘探关键地质问题[J].地质学报,2009,83:1059-1064.
- [5]Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin[C]//Hayes D E. The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2. AGU Geophys Monogr, 1983, 27: 23-56.
- [6]Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific plate relation to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia[J]. Geology, 1995, 23:719-722.
- [7]龚再升,李思田,谢泰俊,等.南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M].北京:科学出版社,1997.
- [8]张功成,米立军,吴时国,等.深水区:南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J].石油学报,2007,28(2):15-22.
- [9]吴时国,姚根顺,董冬冬,等.南海北部陆坡大型气田区天然气水合物的成藏地质构造特征[J].石油学报,2008,29(3):324-328.
- [10]庞雄,陈长民,彭大钧,等.南海珠江深水扇系统及油气[M].北京:科学出版社,2007.
- [11]戴一丁,庞雄,李平鲁.珠江口盆地开平凹陷油气聚集条件分析[J].中国海上油气(地质),1998,12(1):12-18.
- [12]庞雄,陈隽,戴一丁,等.珠江口盆地白云西一开平凹陷油气聚集及勘探目标研究[J].中国海上油气(地质),1995,9(4):237-245.
- [13]李希宗,黄丽芬.开平凹陷的低位体系及其勘探意义[J].中国海上油气(地质),1994,8(6):401-409.
- [14]张翠梅,赵中贤,孙珍,等.珠江口盆地白云凹陷东沙 25 凸起构造演化[J].吉林大学学报,2013,43(1):57-66.
- [15]吴伟中,夏斌,姜正龙,等.珠江口盆地白云凹陷沉积演化模式与油气成藏关系探讨[J].沉积与特提斯地质,2013,33(1):25-33.
- [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.
- [17]康永晓,张国军,冯于恬,等.珠江口盆地白云凹陷沉积充填演化研究[J].化学工程与装备,2011,9:48-50.
- [18]石万忠,宋志峰,王晓龙,等.珠江口盆地白云凹陷底辟构造类型及其成因[J].地球科学,2009,34(5):778-784.
- [19]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.
- [20]米立军,张功成,沈怀磊,等.珠江口盆地深水白云凹陷始新统一下渐新统沉积特征[J].石油学报,2008,29(1):29-34.
- [21]孙珍,庞雄,钟志洪,等.珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J].地学前缘,2005,12(4):489-498.
- [22]姚伯初.南海海盆海底扩张年代之探讨[J].南海地质研究,1998,10:23-33.
- [23]刘俊,刘建华,高金耀,等.南海北部地壳结构重震联合模拟[J].海洋学研究,2009,27(1):44-49.
- [24]丁巍伟,黎明碧,赵俐红,等.南海西北次海盆新生代构造—沉积特征及伸展模式探讨[J].地学前缘,2009,16(4):147-156.
- [25]魏喜,贾承造,祝永军,等.夭折大洋盆地构造演化及充填特征探讨——以南海双峰盆地为例[J].石油学报,2010,31(2):173-179.
- [26]吴振利,李家彪,阮爱国,等.南海西北次海盆地壳结构:海底广角地震实验结果[J].中国科学(D辑),2011,41(10):1463-1476.
- [27]魏喜,祝永军,陈亦寒,等.南海西北次海扩张时代和洋壳性质:沉积地层及重磁依据[J].地质学报,2012,86(3):383-388.
- [28]刘睿,周江羽,张莉,等.南海西北次海盆源供给模式及油气勘探前景[J].地质学报,2012,86(11):1826-1832.
- [29]张涛,高金耀,李家彪,等.南海西北次海盆的磁条带重追踪及洋中脊分段性[J].地球物理学报,2012,55(9):3163-3172.
- [30]敖威,赵明辉,丘学林,等.南海西北次海盆及其邻区地壳结构和构造意义[J].地球科学,2012,37(4):779-790.
- [31]张功成,朱伟林,米立军,等.“源热共控论”:来自南海海域油气田“外油内气”环带有序分布的新认识[J].沉积学报,2010,28(5):987-1005.
- [32]朱伟林.中国近海油气勘探进展[J].中国工程科学,2010,12(5):18-24.
- [33]朱伟林.南海北部深水区油气地质特征[J].石油学报,2010,31(4):521-527.
- [34]朱伟林,米立军,高阳东,等.中国近海近几年油气勘探特点及今后勘探方向[J].中国海上油气,2009,21(1):1-8.
- [35]朱伟林,张功成,钟锴,等.中国南海油气资源前景[J].中国工程科学,2010,12(5):46-50.
- [36]吴景富,张功成,王璞珺,等.珠江口盆地深水区 23.8Ma 构造事件地质响应及其形成机制[J].地球科学,2012,37(4):654-666.
- [37]Briaux A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [38]何家雄,黄火尧,陈龙超.莺歌海盆地泥底辟发育演化与油气运聚机制[J].沉积学报,1994,12(3):120-129.
- [39]董伟良,黄保家.莺歌海盆地流体压裂与热流体活动及天然气的幕式运移[J].石油勘探与开发,2000,27(4):36-40.
- [40]王家豪,庞雄,王存武,等.珠江口盆地白云凹陷中央底辟带的发

现及识别[J]. 地球科学, 2006, 31(2): 209-213.

[41]Lee G H, Kwon Y I, Yoon C S, et al. Igneous complexes in the eastern Northern South Yellow Sea Basin and their implications for hydrocarbon systems[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23: 631-645.

[42]秦国权. 珠江口盆地新生代地层讨论及综合柱状剖面图编制[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(1): 21-28.

[43]张功成. 南海北部陆坡深水区构造演化及其特征[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 528-533.

[44]宋陶然, 李春峰. 由高密度磁异常测量数据分析南海海盆的扩张年龄与扩张模式[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1432-1442.

[45]Avraham B, Uyedda S. The evolution of the China Basin and the Mesozoic paleogeography of Borneo[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1973: 365-376.

[46]Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Sea[C]//Hayes D E. The Tectonic and Geologic Evolution of South Eastern Asian Seas and Islands, Washington DC: Geophysical Monograph, 1980, 23: 89-104.

[47]Barckhausen U, Roeser H A. Seafloor spreading anomalies in the South China Sea revisited[M]. Continent-Ocean Interaction in the East Asian Marginal Seas. Geophys. Monograph Series. American Geophysical Union, 2004: 121-125.

[48]李家彪, 丁巍伟, 高金耀, 等. 南海新生代海底扩张的构造演化模式: 来自高分辨率地球物理数据的新认识[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3004-3015.

[49]李春峰, 宋陶然. 南海深海过程演变——南海新生代洋壳扩张与深部演化的磁异常记录[J]. 科学通报, 2012, 57(20): 1879-1895.

[50]邵磊, 李献华, 汪品先, 等. 南海渐新世以来构造演化的沉积记录——ODP 1148 站深海沉积物中的证据[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 539-544.

《地质通报》第 33 卷第 6 期要目预告

江山—绍兴断裂带构造格局的新元古代 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据	高林志等
阿拉善地块北缘沙拉扎山晚石炭世岩体地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄	杨奇荻等
四川会理地区古近纪雷打树组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义	江卓斐等
青海格尔木哈希牙地区中基性岩墙群的地球化学、锆石 U-Pb 年龄特征及意义	杨柳等
南帕米尔北缘切实界别辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义	洪俊等
青海省沱沱河地区开心岭中二叠世—三叠世基性岩浆事件及其地质意义	张辉善等
青海东昆仑哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征	南卡俄吾等
金沙江缝合带西段蛇绿岩与弧火山岩成对性关系	
——来自地球化学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄证据	刘银等
西藏冈底斯带西段狮泉河地区林子宗群火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义	付文春等
滇东北东川下田坝 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义	武昱东等
地学信息三维量化提取与集成	
——以河南栾川钼矿区为例	李瑞喜等
粤北大宝山矿区徐屋岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义	潘会彬等
柴达木盆地北缘鱼卡—铁石观金红石矿床的发现及其地质意义	王永开等
东天山马头滩金矿的成矿时代及其地质意义	刘重芄等
甘肃白银厂铜多金属矿田折腰山矿床含铁硅质岩地球化学特征及其找矿意义	杜泽忠等
低渗油藏中相对高渗储层特征及其主控因素	
——以鄂尔多斯盆地志丹地区上三叠统延长组长 101 为例	赵虹等