

新西兰坎特伯雷盆地构造-沉积演化 及海域含油气远景

袁著纲, 骆宗强, 刘铁树

(中海油研究总院)

摘 要 基于地震地质解释, 新西兰坎特伯雷盆地海域可划分为西部斜坡、中央拗陷和东部隆起三个构造单元。盆地经历了裂谷期(早白垩世—晚白垩世早期)、被动陆缘期(晚白垩世晚期—渐新世早期)和挤压沉降期(渐新世晚期至今)三个演化阶段, 形成了不同的沉积序列。盆地发育两套成藏组合, 上白垩统的 Clipper 组沼泽相煤系和 Pukeiwhiti 组平原相煤系为主要烃源岩, Clipper 组河流相砂岩、Herbert 组(或 Broken River 组)滨浅海相砂岩为主要储集层。裂谷期的古构造形态及断裂控制了主要圈闭类型及油气运聚方向, 中央拗陷和东部隆起的近坳一侧, 披覆背斜和断块圈闭成藏条件优越, 是有利的勘探区带。

关键词 新西兰; 坎特伯雷盆地; 构造演化; 油气成藏; 成藏组合; 油气远景

中图分类号: TE121.2; TE122.1

文献标识码: A

1 概 况

新西兰国内油气供应紧张, 加上近年来未发现大的商业性油气流, 油气产量下降严重, 亟待拓宽勘探领域。众多石油公司被新西兰广阔的勘探空间和勘探前景所吸引, 开展了许多战略选区研究工作。根据各沉积盆地的勘探现状分析, 坎特伯雷盆地(Canterbury Basin)是新西兰少有的获得油气发现的地区之一^[1], 勘探前景值得重视。该盆地位于新西兰南岛的东部及海域(图1), 面积约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 最大水深超过 2 000 m, 盆地西临南阿尔卑斯山脉, 东界大体延伸至邦蒂海槽, 北部以霍普走滑断层、查塔姆隆起为界, 南部以塔卡普低隆起为界(图1)。20 世纪开始, 多家石油公司在坎特伯雷盆地进行了一系列勘探活动, 其中陆上一直未取得勘探突破, 评价认为陆上的油气地质条件相对较差^[1]; 海域勘探程度很低, 有 5 口探井(位置见图1), Galleon-1 井是唯一一口地质发现井, 获得了一定规模的凝析气, 展示了海域良好的勘探潜力。

目前, 我国国内关于坎特伯雷盆地的资料或研

究成果的公开报道较少, 对其构造-沉积演化特征和油气地质条件等的认识有限, 本文在大量调研公开文献或资料的基础上, 结合掌握的少量海域钻井、地震和分析化验等资料, 系统分析了坎特伯雷盆地的构造-沉积演化, 综合研究了海域不同演化阶段的石油地质条件, 探讨了油气成藏的控制因素, 明确了有利的勘探区带。这对我国石油公司在新西兰开展战略选区和合作勘探具有一定参考价值。

2 构造-沉积演化

坎特伯雷盆地包括了陆上(坎特伯雷平原区)和海域两部分, 陆上平原区主要为新生代沉积, 地层厚度在 2~3 km, 海域海底崎岖、地形复杂。根据海域基底构造特征和沉积地层厚度等, 盆地海域可划分为西部斜坡、中央拗陷和东部隆起三个一级构造单元(图1, 图2)。西部斜坡主要处于陆架区, 呈北东向展布, 断裂几乎不发育, 地层厚度一般小于 3 km, 其中, 新生界进积型沉积序列发育明显, 厚度大, 而中生界厚度比较薄(图2)。中央拗陷由大陆架延伸至大陆坡, 发育一系列北东—南西向的断裂, 存在南北

收稿日期: 2014-10-11; 改回日期: 2015-02-02

本文受国家油气重大专项“大陆边缘盆地类比与油气成藏规律研究”(编号: 2011ZX05030001)资助

袁著纲: 1984 年生, 工程师。2010 年于中国石油大学(华东)获硕士学位。主要从事海外油气勘探研究工作。通讯地址: 100028 北京市朝阳区太阳宫南街 6 号; E-mail: xizhg@cnooc.com.cn

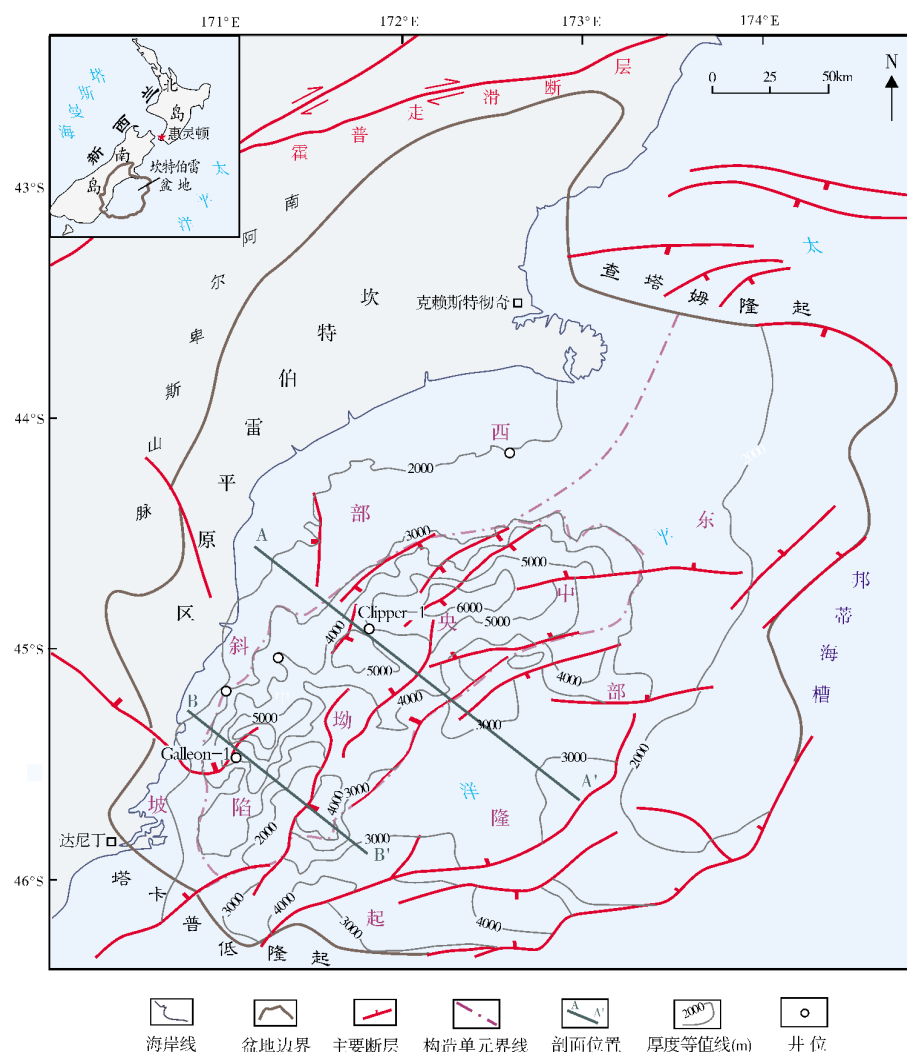


图1 新西兰坎特伯雷盆地构造纲要及沉积地层厚度图(据文献[1]改绘)

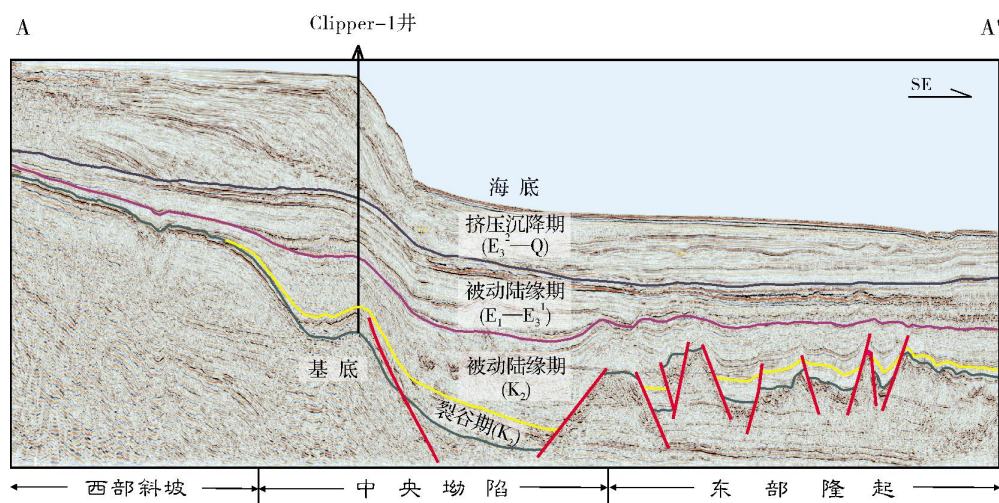


图2 新西兰坎特伯雷盆地区域地震地质解释剖面

A—A'剖面位置见图1

两个沉积中心(图1),最大沉积厚度达7km,其中,中生界厚度大(图2),分布广。东部隆起处于陆坡深水区,隆起的东南部中生界存在众多的垒堑结构(图2),北东—南西向断裂发育且断裂延伸距离大,沉积厚度局部达4~5km;隆起的东北部与西部斜坡相连,断裂相对较少,地层厚度一般2~3km。

坎特伯雷盆地是大陆边缘的中新生代叠合盆地,盆地的形成与演化主要受控于冈瓦纳古陆的裂解和太平洋板块的俯冲^[2-7]。古生代至早中生代,新西兰微

板块是冈瓦纳古陆的一部分,坎特伯雷盆地位于太平洋板块与冈瓦纳古陆汇聚俯冲的边缘,处于火山活动频繁的构造带,为弧前背景,形成了片岩基底(图3)。晚中生代,随着冈瓦纳古陆的裂解,新西兰微板块开始区域拉张,地壳减薄、沉降产生了一系列包括坎特伯雷盆地在内的陆内裂谷盆地。坎特伯雷盆地的构造-沉积演化可分为三个阶段:早白垩世—晚白垩世早期的裂谷期、晚白垩世晚期—渐新世早期的被动陆缘期以及渐新世晚期至今的挤压沉降期(图3)。

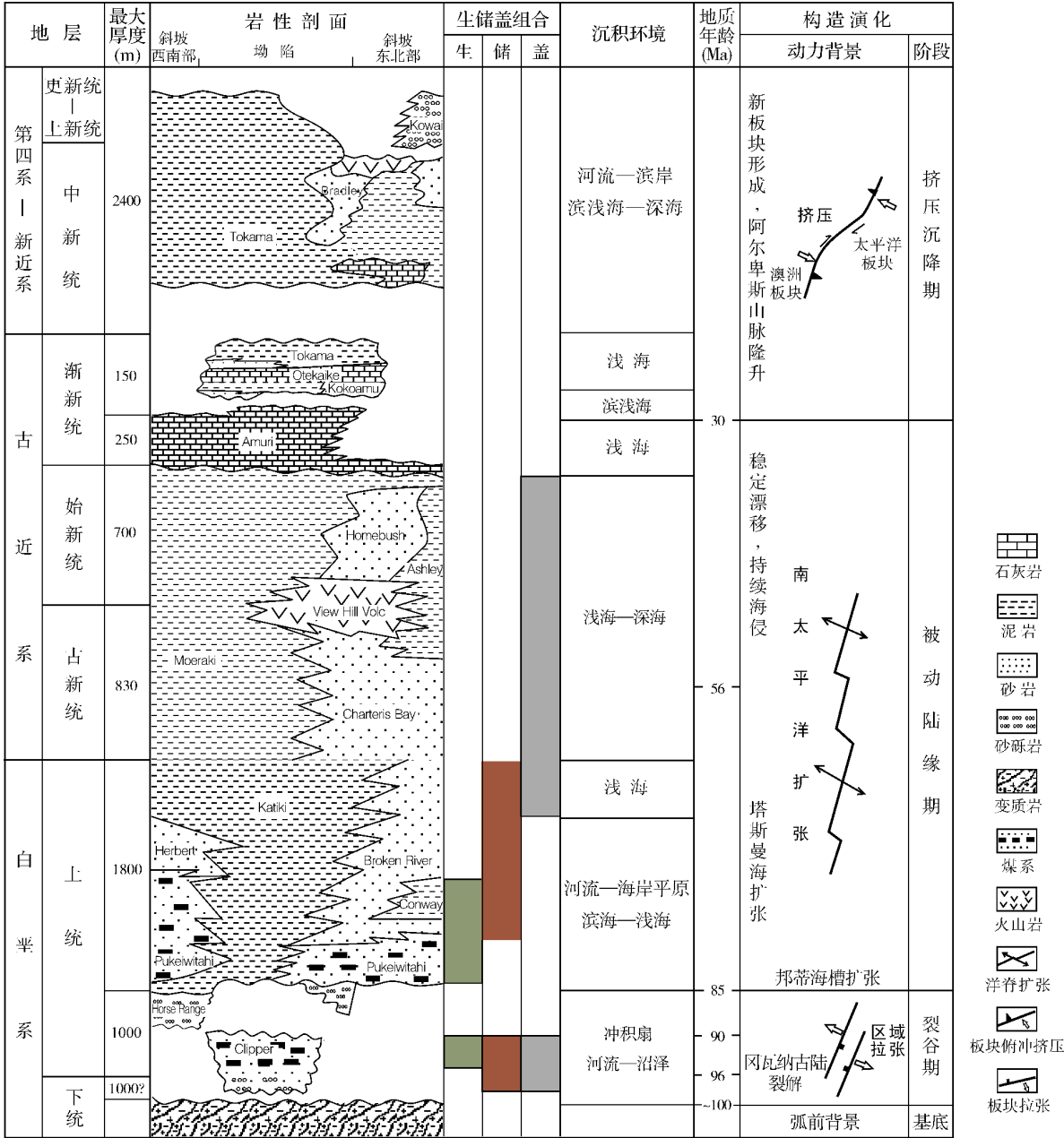


图 3 新西兰坎特伯雷盆地海域地层综合柱状图

2.1 裂谷期(K_1 — K_2 早期)

100~96Ma, 受冈瓦纳古陆初始裂解引起的拉张作用影响, 坎特伯雷地区形成了一系列北东—南西向的地堑, 地堑内发育厚层的冲积扇—河流相砂砾岩等粗粒碎屑沉积(图3), 物源主要来自片岩和局部的花岗岩基底。

95~90 Ma, 冈瓦纳古陆内部, 拉张作用更广泛, 且强度增大, 坎特伯雷盆地中西部裂谷规模变大, 开始连通, 成为汇水低洼区。盆地中部的裂谷内广泛发育河流—沼泽相沉积^[8], 形成了一套富含砂岩、厚达1000 m的煤系, 即上白垩统Clipper组(图3); 盆地西南部靠近物源, 以河流相为主, 岩性主要为砂岩和砾岩; 受古太平洋的影响, 盆地东部发生了小范围海侵, 沉积环境为滨浅海相(图4a)。

Clipper组沉积之后, 新西兰微板块区域抬升, 盆

地经历了5Ma左右的沉积间断, 形成了一个区域性不整合, 仅局部地区发育一些粗碎屑沉积(图3)。

2.2 被动陆缘期(K_2 晚期— E_3 早期)

85 Ma左右, 塔斯曼海和南太平洋开始扩张, 东部邦蒂海槽沉降剧烈, 海水迅速涌入, 坎特伯雷盆地进入热沉降阶段, 转变为被动陆缘背景(图3)。盆地西部斜坡和中央坳陷西部广泛发育河流—海岸平原相沉积^[8], 形成了一套重要的煤系, 即Pukeiwhiti组; 中东部逐渐过渡为浅海相, 岩性主要为泥页岩和粉砂岩。

70 Ma开始, 海侵范围进一步扩大, 盆地大部分地区被浅海覆盖, 主要发育泥页岩沉积; 仅盆地西部斜坡发育一些滨浅海相砂岩(图4b), 东部隆起中局部继承性的古隆起水体较浅, 也发育一些滨浅海相砂岩沉积。晚白垩世沉积分布广泛, 中央坳陷内厚度达1800 m。

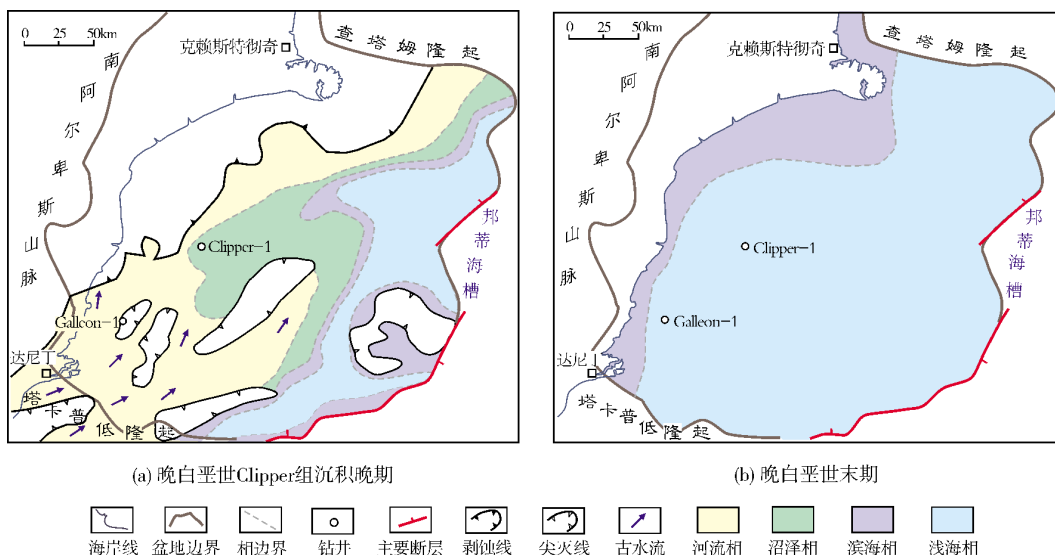


图4 新西兰坎特伯雷盆地海域白垩纪沉积相分布图(据文献[8]修改)

古新世—始新世, 盆地进入稳定的大陆漂移期。盆地内部与冈瓦纳古陆裂解有关的断裂活动逐渐停止, 且基本没有新的断裂产生(图2)。查塔姆隆起被完全淹没, 西部斜坡北部仍为浅海沉积环境, 充填了一套砂岩地层; 其余大部分地区由浅海渐变为深海, 主要发育泥页岩沉积(图3)。

渐新世早期, 盆地进入最大海泛期, 陆源物质输入减少, 浮游和远洋生物繁盛, 全区普遍发育一套厚达250 m的碳酸盐岩(图3)。

2.3 挤压沉降期(E_3 晚期—现今)

渐新世晚期开始, 澳洲板块与太平洋板块间新

的板块边界开始形成, 新西兰微板块中部形成阿尔卑斯走滑断裂带; 澳洲板块沿着该断裂带向东南俯冲于新西兰微板块之下, 并伴有右旋走滑, 造成强烈挤压, 形成了南阿尔卑斯造山带(图3)。中新世—上新世, 随着挤压活动的增强, 盆地现今地貌的雏形逐渐显现, 同时, 形成一些新的断裂, 局部地区伴有强烈的火山活动。

造山带的抬升和遭受剥蚀, 提供了大量物源, 盆地西部发育了大套进积型的河流—海岸沉积体系(图2); 盆地中东部地区仍为较稳定的大陆边缘背景, 以进积型的滨海—深海沉积体系为主, 岩性主要为泥页岩和粉砂岩(图3), 局部发育一些浊积水道。

挤压沉降期,盆地内快速堆积的中新统一更新统厚度达2 400 m。

3 油气成藏条件与有利勘探区带

盆地不同期次的构造-沉积演化控制了盆地内生储盖组合、圈闭类型、油气运聚等诸多成藏要素的差异性,影响着油气的生成、运移和聚集^[9-11]。坎特伯雷盆地三期构造-沉积演化形成了两套有效的生储盖组合(图3,图5),具备油气成藏的潜力。

3.1 烃源岩

盆地内两套有效烃源岩分别为裂谷期的上白垩统 Clipper 组沼泽相煤系烃源岩和被动陆缘期的上白垩统 Pukeiwhitahi 组海岸平原相煤系烃源岩(图3,表1)。

裂谷期的地堑多为汇水的沼泽环境,这使得 Clipper组煤系烃源岩局限于中央坳陷内(图4a)。据

Clipper-1井揭示,Clipper组煤系烃源岩主要发育在 Clipper组中上部,厚度一般在200~400 m;它是一套优质的偏气型烃源岩,干酪根类型为Ⅲ型,已进入成熟—高成熟阶段,成熟区面积达3 000 km²,是盆地中唯一大面积成熟、可大量生排烃的烃源岩。

被动陆缘期的沉积相带展布格局使得Pukeiwhitahi组煤系烃源岩主要局限于陆架—坡折一带(图5),主要分布于西部斜坡带及中央坳陷西部,煤系厚度向东部变薄,至中央坳陷岩性渐变为泥页岩。该套煤系平均厚度 50m,埋藏较浅,基本处于未成熟—低成熟阶段,干酪根类型为Ⅱ₂—Ⅲ型,可生油亦可生气,生排烃量有限;中央坳陷南部 Galleon-1 井区受火山活动影响热流值较高,已达到成熟,并形成了油气聚集(图5)。

古新世末期,受洋流的影响,盆地内沉积了一套富含有机质的黑色页岩,由于埋藏过浅,生烃潜力较差^[12]。此外,该时期盆地局部地区的火山活动形成了大量火山岩,受此影响,局部热流值增大,可能促进

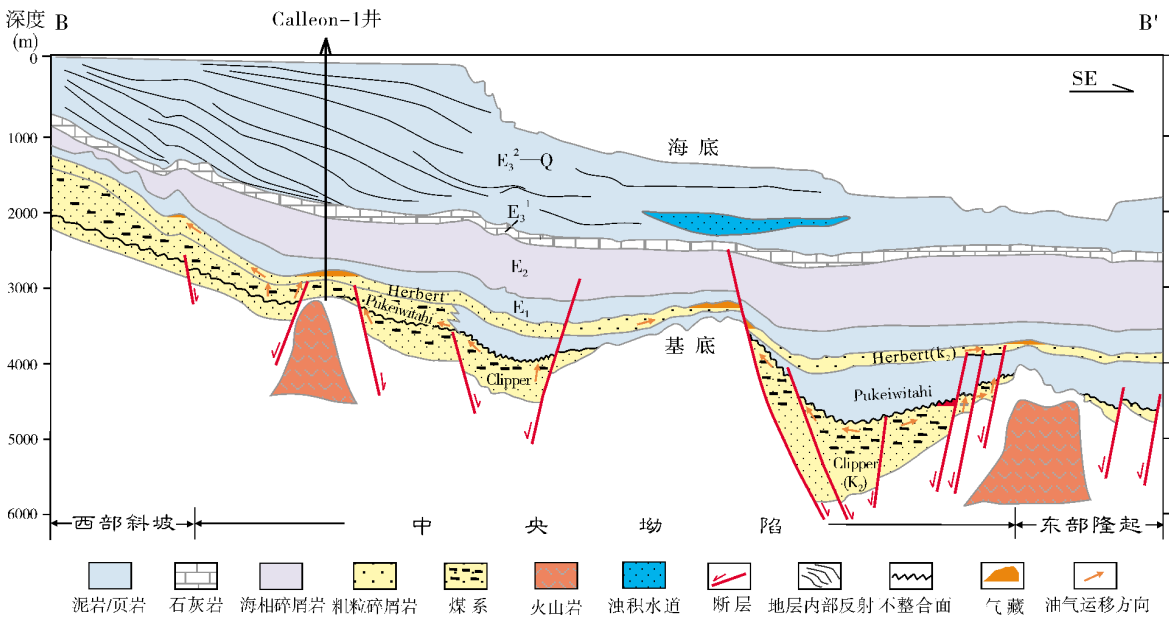


图5 新西兰坎特伯雷盆地海域油气成藏模式图
B—B'剖面位置见图1

表1 新西兰坎特伯雷盆地烃源岩特征(资料来源:Clipper-1井)

层位	构造演化	岩性	干酪根类型	TOC (%)		HI (mg/g)		S ₁ +S ₂ (mg/g)		成熟度	主要分布范围
				范围	平均	范围	平均	范围	平均		
Pukeiwhitahi组 (K ₂)	被动陆缘期	碳质泥岩	Ⅱ ₂ —Ⅲ	9.7~17.0	13.3	178~249	212	17.4~36.1	28.9	未成熟—低成熟	西部斜坡,中央坳陷西部
		煤	Ⅲ	30.2~80.0	53.7	179~396	242	71.6~248.5	134.8		
Clipper组 (K ₂)	裂谷期	泥岩	Ⅲ	0.9~6.2	2.3	21~583	93	0.3~15.3	2.5	成熟—高成熟	中央坳陷
		煤	Ⅲ	69.8~76.6	74.3	85~150	99	72.4~85.4	80.3		

了烃源岩的成熟。

裂谷期以后,盆地一直处于陆架—陆坡背景,接受了巨厚的沉积,这为烃源岩成熟提供了足够的负载。另一方面,中新统一更新统巨厚的细粒沉积可能造成局部地区地层压力超过盖层的破裂压力,如果恰值烃类充注期,则易导致油气散失。

3.2 储盖组合

盆地内白垩系发育两套有效储集层(图3,表2),且均已得到证实。**Clipper**组冲积扇—河流相砂岩储集层主要分布于中央坳陷及西部斜坡西南部(图4a),由于埋藏较深,物性较差,孔隙度一般在1%~16%,渗

透率一般小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。**Clipper**组沉积期间,沼泽相发育,且盆地经历过小范围的海侵,形成了许多层间泥页岩和煤层,它们既是盆地的烃源岩,又是**Clipper**组储集层的重要层间盖层。

Herbert组(或**Broken River**组)滨浅海相砂岩储集层(图3,表2),孔隙度一般在10%~35%,渗透率范围($10 \sim 100$) $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,是重要的储集层。盆地西部斜坡、中央坳陷西部以及一些继承性的古隆起区是该套储集层发育的区带。上述滨浅海相砂岩沉积之后,盆地经历了持续性海侵,形成了上白垩统**Katiki**组、古新统**Moeraki**组等巨厚的浅海—深海相泥页岩,这些泥页岩构成了优质的区域盖层(图3)。

表 2 新西兰坎特伯雷盆地储集层特征

层位	构造演化阶段	岩性	沉积相	孔隙度 (%)	渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	有利发育区带
Herbert 组 (K_2)	被动陆缘期	砂岩	滨浅海	10~35	10~100	西部斜坡,中央坳陷西部,古隆起区
Clipper 组 (K_2)	裂谷期	砂岩	冲积扇—河流	1~16	<10	中央坳陷,西部斜坡西南部

3.3 圈闭类型

盆地的主要圈闭类型有构造圈闭、构造-地层圈闭和岩性圈闭。裂谷期,盆地正断层发育,形成了大量的垒堑结构,继承性的地形凸起为披覆背斜、断背斜等构造圈闭的形成奠定了基础(图5),中央坳陷、东部隆起的白垩系中此类圈闭发育,是目前勘探的重点;此外,中央坳陷、西部斜坡还发育一些断块圈闭。裂谷期之后,盆地一直处于陆架—陆坡背景,发育众多的浊积水道,形成了一些岩性圈闭,它们主要分布于西部斜坡带及中央坳陷的中新统,这也是潜在的勘探目标。

3.4 油气成藏模式

目前,坎特伯雷盆地已有的钻探和发现均集中于西部斜坡、中央坳陷的一些凸起部位。由于这些部位紧邻中央坳陷上白垩统有效生烃灶,处于油气运移的优势方向,油气沿着断层、储集层或不整合面运移,就能在披覆背斜等圈闭中聚集成藏(图5)。此外,东部隆起在构造演化过程中一直处于相对高部位,且有众多顺向断层沟通中央坳陷的烃源岩,故这里亦是油气运聚的指向区。

Galleon-1井揭示了一个具有一定规模的凝析气藏,证实了上白垩统**Pukeiwhiti**组含油气系统^[1]。该气藏的烃源岩为**Pukeiwhiti**组煤系,局部受到后期火山活动的影响,在中新世开始大量生烃;生成的油气沿着断裂

向上运移,在**Herbert**组砂岩为储层的披覆背斜中聚集成藏,上覆厚层的海相泥页岩可充当优质盖层(图5)。

此外,**Clipper-1**井在**Clipper**组砂岩中见到了天然气显示,并在**Clipper**组顶部钻遇厚约5m的煤层。研究认为该套煤系是**Clipper-1**井天然气的源岩,在中新世已进入大量生排烃阶段^[1]。油气沿着断裂纵向运移、沿不整合面和砂岩横向输导,聚集至中央坳陷、东部隆起等地区大量发育的披覆背斜和断块圈闭中,**Clipper**组或**Herbert**组砂岩可作为储层。**Clipper-1**井仅见气显示,这可能与**Clipper**组储层物性差,或在中新世油气充注期因地层超压、盖层破裂而导致的油气散失有关。

3.5 有利勘探区带

基于前述分析,坎特伯雷盆地海域应具有良好的勘探前景,中央坳陷、东部隆起近坳一侧是有利的油气勘探区带。首先,中央坳陷是盆地主力烃源岩**Clipper**组煤系的最有利分布区,**Pukeiwhiti**组煤系烃源岩的成熟区带也局限于中央坳陷的西部,那么,中央坳陷和东部隆起具有最佳的供烃优势。其次,中央坳陷发育**Clipper**组冲积扇—河流相砂岩、**Herbert**组滨浅海相砂岩和中新统浊积砂岩等多套储集层,东部隆起在裂谷期最先遭受海侵,可能发育滨海相砂岩储集层,这些储层与上覆泥页岩有效配置可形成优质的储盖组合。最后,这两个区带具有形成构造

圈闭的背景(图2,图5),依据地震资料,已在中央坳陷、东部隆起的白垩系中落实了一系列披覆背斜和断块圈闭。因此,从整体上来说,这些圈闭带的储盖组合配置好,处于上白垩统生烃灶内或周边,存在着断裂和不整合等油气运移通道,因而是油气聚集成藏的有利区,可作为下一步勘探的重点。

4 结 论

(1)新西兰坎特伯雷盆地海域可划分为西部斜坡、中央坳陷、东部隆起三个构造单元。

(2)盆地白垩纪以来经历了裂谷期、被动陆缘期、挤压沉降期三个构造演化阶段。裂谷期的一系列北东向或东西向的断裂及地堑、地垒,控制了盆地的基本构造格局及主力烃源岩——上白垩统Clipper组煤系的展布,并为构造圈闭的形成及油气运移奠定了基础。被动陆缘期,海相沉积发育,形成了重要的储盖组合。挤压沉降期,浅海相碳酸盐岩和深海相泥页岩发育,巨厚的沉积促进了烃源岩的成熟。

(3)盆地内发育两套成藏组合,Clipper组沼泽相煤系和Pukeiwhiti组海岸平原相煤系为烃源岩,Clipper组河流相砂岩、Herbert组(或Broken River组)滨浅海相砂岩为储集层。中央坳陷、东部隆起近坳一侧油气地质条件优越,披覆背斜和断块圈闭发育,是有利的油气勘探区带。

参 考 文 献

- [1] New Zealand Petroleum and Minerals. New Zealand Petroleum Basins[EB/OL]. Wellington: NZPAM, 2014:1-103. <http://www.nzpam.govt.nz/cms/about-nzpam/publications/>.
- [2] Lu Hongbo, Fulthorpe C S, Mann P. Three-dimensional architec-

- ture of shelf-building sediment drifts in the offshore Canterbury basin, New Zealand[J]. Marine Geology, 2003, 193(1/2): 19-47.
- [3] King P R. Tectonic reconstructions of New Zealand: 40 Ma to the present[J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 2000, 43(4): 611-638.
- [4] King P R. New Zealand's changing configuration in the last 100 million years: Plate tectonics, basin development and depositional setting[C]// 2000 New Zealand Petroleum Conference Proceedings. Wellington: NZPAM, 2000: 1-21.
- [5] Sutherland R, King P R, Wood R. Tectonic evolution of Cretaceous rift basins in south-eastern Australia and New Zealand: Implications for exploration risk assessment[C]// PESA Eastern Australasian Basins Symposium. Melbourne, 2001: 1-11.
- [6] Norvick M S, Smith M A. Mapping the plate tectonic reconstruction of Southern and Southeastern Australia and implications for petroleum systems[J]. The APPEA Journal, 2001, 41(1): 15-35.
- [7] Constable R M, Lang D S, Allan T M H. Development of a sequence stratigraphic framework in the Great South basin[C]// Advantage NZ: 2013 Petroleum Conference. Wellington: NZPAM, 2013: 1-21.
- [8] Sahoo T R, Browne G H, Hill M G. Seismic attribute analysis and depositional elements in the Canterbury Basin[C]// Advantage NZ: Geotechnical Petroleum Forum 2014. Wellington: NZPAM, 2014: 1-7.
- [9] 解习农,张成,任建业,等. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3280-3291.
- [10] 王力,屈红军,张功成,等. 世界主要被动大陆边缘深水含油气盆地生储盖组合发育规律[J]. 海相油气地质, 2011, 16(4): 22-30.
- [11] 丘东洲,谢渊,李晓清,等. 亚洲特提斯域岩相古地理与油气聚集地质特征[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2): 41-51.
- [12] Hollis C J, Field B D, Crouch E E, et al. How good a source rock is the Waipawa (Black Shale) Formation beyond the East Coast Basin? An outcrop-based case study from Northland [C]// 2006 New Zealand Petroleum Conference Proceedings. Wellington: NZPAM, 2006: 1-8.

编辑:董 庸

Tectonic-Sedimentary Evolution and Offshore Hydrocarbon Potential in Canterbury Basin, New Zealand

Xi Zhugang, Luo Zongqiang, Liu Tieshu

Abstract: Canterbury Basin is a Cenozoic passive margin basin superimposing on a Mesozoic rift basin. The offshore host can be divided into three tectonic units, i.e. Western Slope, Central Depression and Eastern Uplift based on seismic interpretation and drilling data analysis. The basin has experienced three evolution periods since Cretaceous, the rifting period (K_1 to early K_2), the passive continental margin period (late K_2 to early E_3) and the compressed subsidence period (late E_3 to now), which brought in different sedimentary sequences. There are two plays in the basin, in which Upper Cretaceous Clipper swamp coal measures and Pukeiwhiti plain coal measures strata are as source rocks and Clipper fluvial sandstone and Herbert and/or Broken River neritic sandstone are as main reservoirs. The paleostructural configuration and the normal faults that formed during the rifting period control the distribution of traps and the direction of hydrocarbon migration. Good conditions of hydrocarbon accumulation are possessed in the draping anticlines and fault-block traps in Central Depression and on the side of Eastern Uplift adjacent to the depression, which are suggested to be the potential exploration areas.

Key words: Tectonic evolution; Hydrocarbon accumulation; Play; Exploration potential; Canterbury Basin

Xi Zhugang: Geology Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Taiyanggong Nan Jie, Beijing, 100028, China