

“源热共控”新西兰南大盆地生烃潜力

金莉, 杨松岭, 柯岭, 骆宗强, 孙翠娟

(中海油研究总院海外评价中心)

摘要 新西兰南大盆地(Great South Basin)经历了裂谷期、拗陷期及大陆边缘期三个构造演化阶段,并发育了三套烃源岩,分别为裂谷期的上白垩统 Hoiho 群煤系烃源岩(为主要烃源岩)、拗陷期的上白垩统—古新统 Taratu 组海岸平原相煤系烃源岩和 Wicliffe 组海相泥岩烃源岩。源热耦合分析发现,裂谷期 Hoiho 群湖沼相煤系烃源岩埋藏深,有机质丰度高,热演化程度高,有效烃源岩体积大,生气潜力也大;Taratu 组海岸平原相煤系烃源岩也是有效烃源岩。认为中央拗陷烃源岩发育,油气潜力大。

关键词 新西兰;南大盆地;烃源岩;生烃潜力;源热共控论

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

1 概况

新西兰沉积盆地发育,共有15个,主要位于北岛和南岛东西两侧的海上(图1),总面积达 $75 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。新西兰的油气勘探最早始于上世纪初,勘探程度总体较低。近年来,天然气的短缺促使新西兰政府开始向国际公司开放油气探采权,随着勘探活动的增加,不断有新的发现,在塔腊纳基(Taranaki)盆地(图1中的盆地2)发现了一批油气田,且已投入开发,其它盆地目前尚无商业性突破^[1-9]①。为开拓新西兰的勘探新机会,除塔腊纳基盆地外,面积大、且有多处油气显示的南大盆地(Great South Basin)成为了重点关注的对象。

南大盆地位于新西兰南岛东南海域(图1),面积约 $10.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,水深100~1250m。盆地的勘探始于1969年,目前有二维地震近50000 km,2006年后采集的三维地震共6163 km²,主要分布在中央拗陷和Pakaha隆起;共钻8口探井,其中,1口井发现油气,4口井见油气显示,3口井为干井。Kawau-1A井在Wicliffe组(上白垩统—古新统)的砂岩段试获日产约 $19 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的凝析气流,因受水深等因素影响,该气

藏尚不具备商业价值;Tara-1井则因机械故障而未能完成试井^[3-9]。前人认为盆地内多数钻井的失利多与烃源岩不成熟、远离生烃灶、油气充注能力差等有关^[3],但具体对烃源岩的论述则比较笼统,对煤系烃源岩生烃机制的认识也有局限^[3-5],这些都制约了对南大盆地这种“有气无田型”盆地的勘探潜力分析。

本文拟在盆地构造-沉积分析的基础上,以源热共控论^[10-11]为指导——烃源岩和热是生烃作用的两个方面,烃源岩属于内因,热是外因,内因(烃源岩)是变化(生烃)的根据,外因(热)是变化的条件,外因(热)通过内因(烃源岩)而发生作用(实现生烃)——并根据新收集到的钻井、地震及实验分析资料,来深入研究南大盆地的生烃潜力。

2 盆地构造-沉积特征

2.1 盆地构造

南大盆地的演化与新西兰微地块的形成、漂移与就位密切相关^[12-15]。受区域地质演化控制,盆地基底由前寒武纪晚期至早古生代的片岩、硬砂岩、泥岩、石灰岩和大理岩以及石炭纪至侏罗纪的

收稿日期: 2015-03-02; 改回日期: 2015-05-06

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

金莉:女,1965年生,高级工程师,1988年毕业于西北大学。现主要从事石油地质综合研究工作。通讯地址:100028北京市朝阳区太阳宫南街6号院中海油大厦A座801室;E-mail:jlinli@cnooc.com.cn

① Quinn R K, Bache F, Barker D H N. Petroleum Prospectivity Evaluation of the Reinga, Northland, Deepwater Taranaki, Canterbury and Great South Basins[R]. 2012.

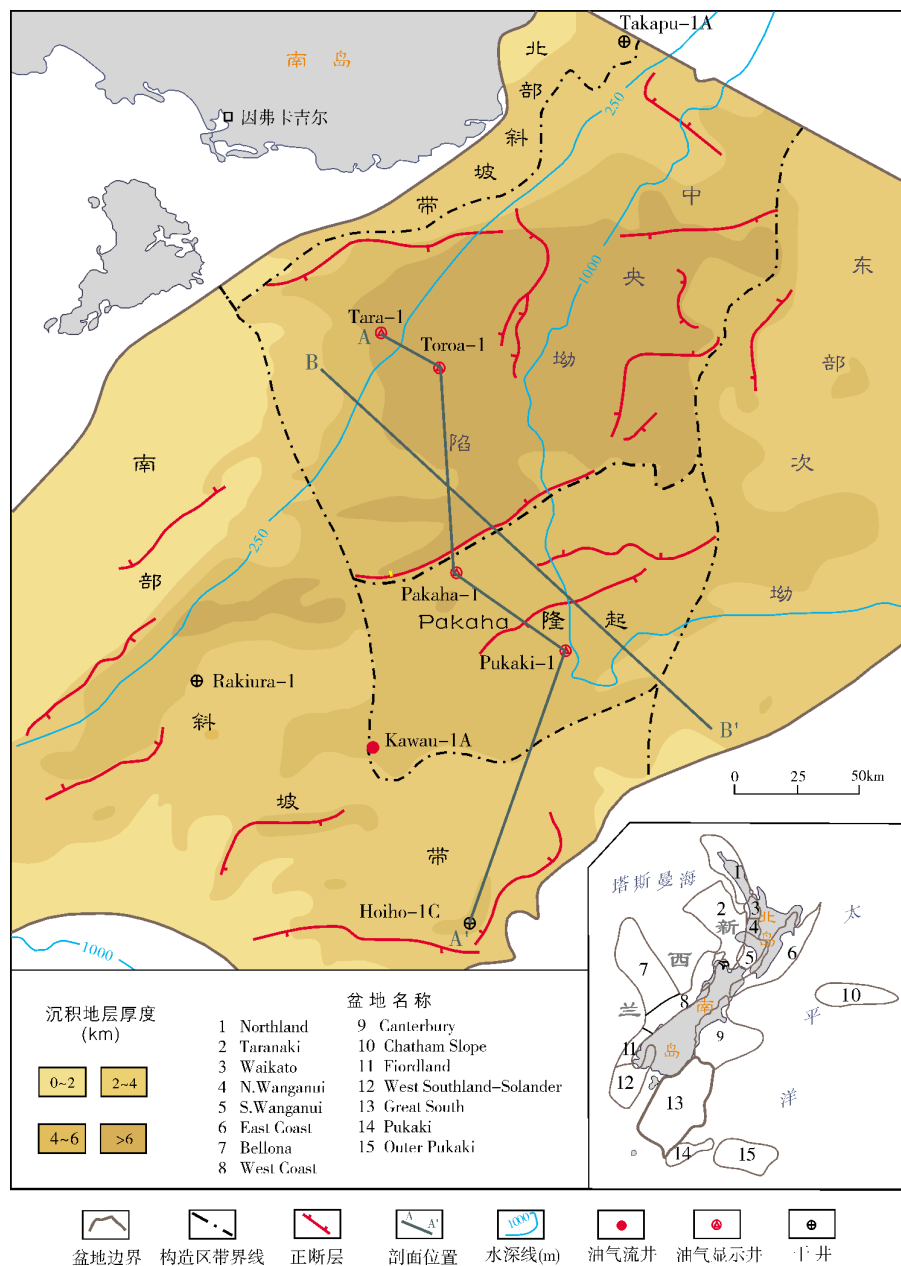


图1 新西兰南大盆地构造区划及沉积地层厚度(据文献②,有修改)

硬砂岩和熔岩组成,盖层由白垩纪—第四纪的沉积构成。就盖层而言,盆地经历了裂谷期、拗陷期和大陆边缘期三期构造演化,沉积了陆相、海陆过渡相及海相三套地层(图2),形成了纵向上的三层结构(图3)。

下层为裂谷期构造层(K_2 下部),在强烈的拉张作用下,基底卷入型断层发育,断层规模普遍较大,

断层平面上主要呈北东、东西向(图1),断面倾角大,盆地原型由一系列地堑、半地堑及地垒构成。中层为拗陷构造层(K_2 上部— E_3 下部),下部断层明显变少,上部断层不发育。上层为大陆边缘期构造层(E_3 上部—Q),盆地由拉张的环境转为挤压环境,局部构造发生反转,褶皱发育(图3)。根据盆地裂谷期构造层——上白垩统顶面的构造格局,可将盆地划分为

② Crown Minerals, Ministry of Economic Development. New Zealand Petroleum Basins[R]. 2010

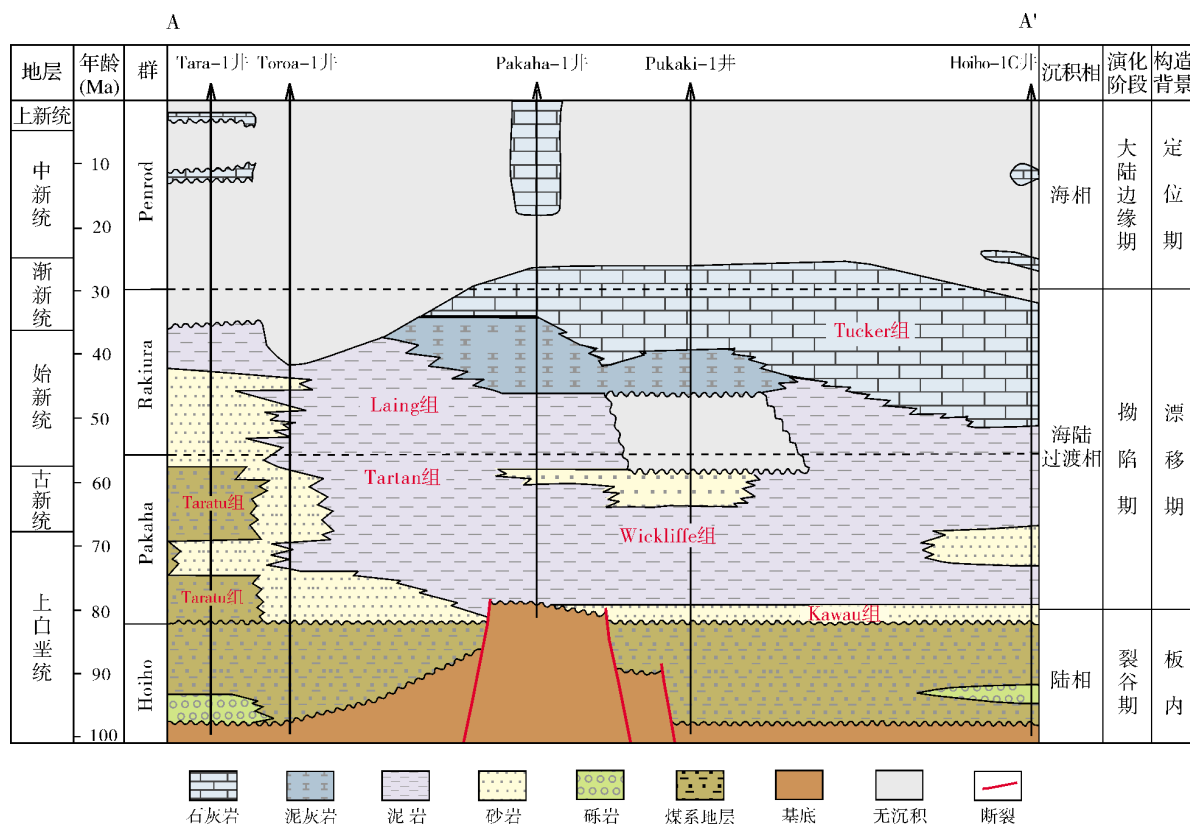


图2 新西兰南大盆地连井综合地质剖面图

A—A'剖面位置见图1

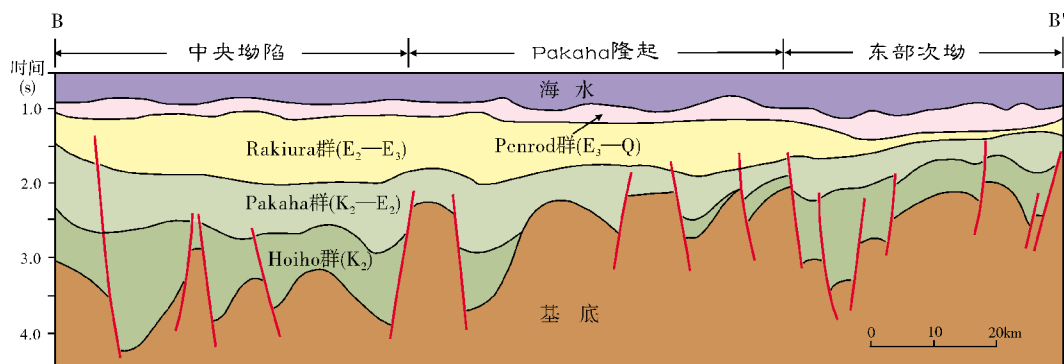


图3 新西兰南大盆地地震地质解释剖面(据文献②,有修改)

B—B'剖面位置见图1

北部斜坡带、中央拗陷、Pakaha隆起、东部次拗及南部斜坡带等一级构造单元(图1,图3)。中央拗陷沉积厚度最大,超过11 000 m(包括局部的侏罗系)。

2.2 盆地沉积充填

晚白垩世陆内裂谷充填沉积(Hoiho群)发育(图2),分布范围受地堑或半地堑控制,地层厚度变化大。在地堑、半地堑中沉积了陆相的河流相—湖沼相地层,

边界断层下降盘沉积了粗粒碎屑岩,在低洼部位为煤系沼泽、湖泊相沉积。自早至晚,湖泊相—沼泽相分布范围有逐渐扩大的趋势;早期,在盆地的北部和南部呈带状展布,中间被Pakaha隆起隔开;晚期,北部沼泽相沉积范围逐渐扩大,沿湖周缘呈环带状分布,Hoiho群分布面积达 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,厚度为100~2 000 m(图4a),在盆地东翼逐渐萎缩。

进入拗陷期,由于海侵作用增强,在盆地东部发

生海侵,海陆过渡相沉积(Pakaha群)发育(图2,图4b)。在盆地边缘发育海岸平原相沼泽煤系地层(Taratu组),分布局限;向盆地内部相变为滨海相粉砂岩及陆架浅海相泥岩沉积(Wickliffe组)(图2)。

始新世以来,随着海退,在盆地西北大陆架沉积了一套进积型层序,岩性以砂岩为主,盆地中部以泥岩为主,东南部的隆起、斜坡带则发育石灰岩(图2)。

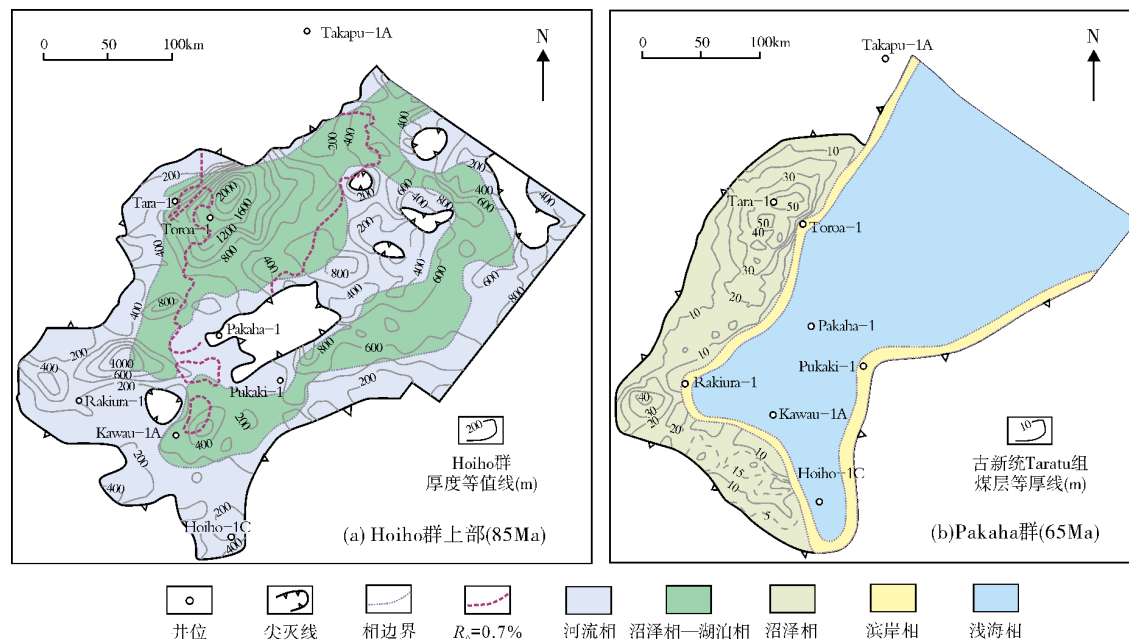


图4 新西兰南大盆地晚白垩世—古新世岩相古地理及烃源岩厚度

3 “源热共控”烃源岩生烃潜力

南大盆地发育Hoiho群、Taratu组煤系烃源岩和Wickliffe组海相泥页岩三套烃源岩(图2)^③〔16-17〕,其中,Hoiho群煤系烃源岩为主要烃源岩,Taratu组煤系烃源岩、Wickliffe组泥页岩为次要烃源岩。这里从煤系烃源岩的生烃模式〔18〕入手来讨论盆地的生烃潜力。

3.1 煤系烃源岩生烃模式

在生烃问题上,烃源岩是内因,热是外因,两者的耦合决定了生烃潜力,这是“源热共控论”的核心〔10-11〕。煤系烃源岩是生气还是生油,既与自身物质组成有关,也与热演化程度密切相关。据最新的煤系烃源岩模拟实验结果,其生烃呈四阶段模式〔18〕: R_0 在0.7%以下为低成熟期,生成的是低熟油气(如低熟油、生物气); R_0 在0.7%~1.3%之间为成熟期,油气兼生但以生油为主; R_0 在1.3%~2.0%之间为高成熟期,油气兼

生但以生气为主; R_0 大于2.0%为过成熟期,此时还能生成大量的过成熟气(干气)(图5)。据生烃潜力模拟实验,在 R_0 大于2.0%时所生成的天然气至少占总生气量的30%以上,在 R_0 大于3.0%时还至少占总生气量的20%以上〔19〕。不同盆地煤系烃源岩的生烃四阶段的划分方案及具体 R_0 值可能略有不同,但煤系烃源岩总体具有生油高峰早而生气高峰晚、气窗宽而油窗窄、生气多而生油少这些共同的特征。

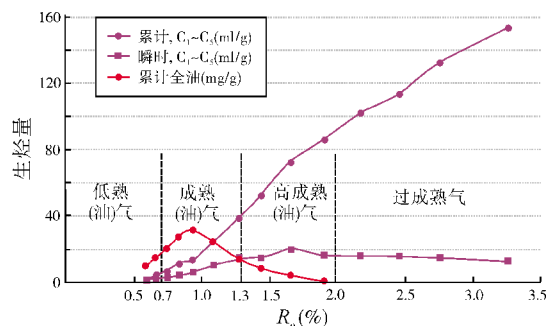


图5 模拟实验得到的煤系烃源岩产烃曲线〔18〕

③ Gibbons M J, Jackson R G. A geochemical review of the Great South Basin (incorporating previously unreported data for Kawanu-1 and Toroa-1). New Zealand Unpublished Openfile Petroleum Report, PR902, 1980: 26, 3 enclosures.

3.2 Hoiho群煤系烃源岩

Hoiho群有6口井钻遇,岩性主要为泥岩、碳质泥岩和少量煤。Toroa-1井揭示厚度241.5 m,有1层厚达20 m的泥炭-煤层及2层厚约1m的薄煤层。Kawau-1A井揭示厚度442.5 m,泥岩发育,有多个泥炭-煤层,合计厚度近20 m。其它井钻遇的Hoiho群厚度不等,受沉积相带的控制,煤层薄且少。根据地震地质解释,裂谷期发育的Hoiho群,其沉积范围和厚度受断陷结构的控制,面积为 $7.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,在中央坳陷,烃源岩最厚可达2000 m(图4a)。

Hoiho群煤系烃源岩的TOC值为0.05%~40.6%,总烃含量HC为 $(20 \sim 2750) \times 10^{-6}$ 。其中:碳质泥岩的TOC值为5.2%~40.6%(图6a),均值18%,有机质丰度较高,氢指数HI为100~250 mg/g,HC为 $(1265 \sim 1635) \times 10^{-6}$,为中等—好烃源岩;泥岩的TOC值为0.5%~5.8%(图6a),平均1.5%,HC为 $(20 \sim 2140) \times 10^{-6}$,为中等—很好烃源岩。

Hoiho群烃源岩镜质组反射率普遍较高,范围为0.41%~1.68%(图6a),受构造位置的影响,南部斜坡带和Pakaha隆起的钻井,实测 R_o 随深度变化不明显,这

里参照中央坳陷的数据并按煤系烃源岩热演化的四阶段模式^[18],大致确定 $R_o=0.7\%$ 时相当于埋深3500 m,根据该生烃门限深度,估算Hoiho群顶面的成熟面积为 14066 km^2 ,Hoiho群底面的成熟面积为 25369 km^2 ;在 R_o 达到1.3%进入主力生气阶段,估算烃源岩生气面积达 4850 km^2 ,总体上具有较大的生烃潜力。

Kawau-1A井于Wickliffe组的砂岩段获得日产约 $19 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的凝析气,估计储量约 $130 \times 10^8 \text{ m}^3$,应主要来自Hoiho群煤系烃源岩。油源对比分析表明,Kawau-1A井上白垩统Kawau砂岩中的凝析油来源于裂谷期的Hoiho群煤系烃源岩,Toroua-1井中的油斑也来源于此^③。

3.3 Taratu组煤系烃源岩

目前只有Tara-1井钻遇Taratu烃源岩,岩性以煤、碳质泥岩为主,少量为泥岩。TOC值为1.76%~55.5%,HC为 $(1385 \sim 1880) \times 10^{-6}$,具有较强的生烃潜力。其中:煤及碳质泥岩的TOC值为6.4%~55.5%(图6b),均值为21.12%,为好—很好烃源岩;泥岩的TOC值为1.76%~4.98%(图6b),平均为3.25%,为好—很好烃源岩^③。

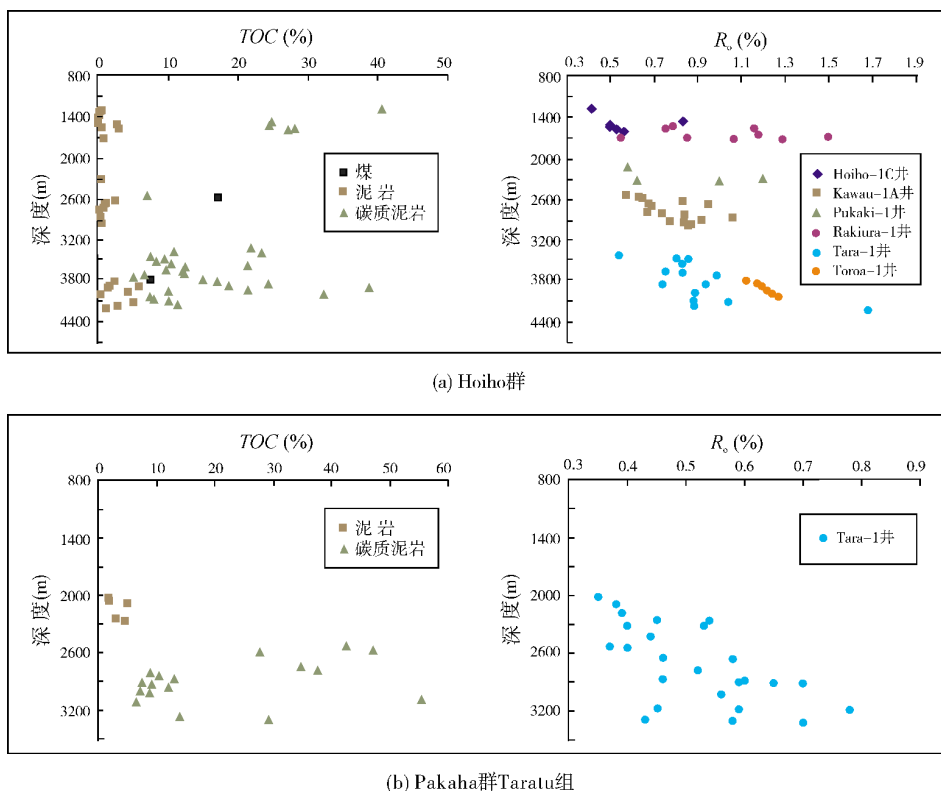


图6 新西兰南大盆地上白垩统—古新统煤系烃源岩实测TOC及 R_o 值

该井实测 R_o 值为0.35%~0.78%, 烃源岩大多处于低熟—成熟阶段(图6b)。以 $R_o=0.7\%$ 为生油门限计算, 生烃门限在3 000 m。根据地震地质解释估算, Taratu组底面成熟面积为495 km², Taratu组烃源岩分布范围较小, 仅分布在盆地西侧, 在Tara-1井附近厚度最大。其中: 上白垩统Taratu组主要位于盆地西部, 最大厚度达1 000 m, 纯煤层最厚达60 m; 古新统Taratu组发育面积相对较大, 地层最大厚度达460 m, 纯煤厚度达50 m(图4b)。由于海岸沼泽相分布范围有限, Taratu组成熟度较低, 可能局部有生油潜力。

3.4 Wickliffe组海相泥岩烃源岩

Wickliffe组是与Taratu组同时异相的一套海相泥岩沉积, 分布广泛, 地层厚度大, 最厚处在Toroa-1井以东地区(图2)。盆地内8口钻井均钻遇Wickliffe组, 岩性主要为石灰岩、泥岩、灰质泥岩, 少量碳质泥岩。烃源岩TOC值为0.05%~10.7%, HC为 $(10\sim1\,815)\times10^{-6}$ 。其中: 石灰岩TOC值为0.6%~3.7%, 均值为1.4%, HC为 $(125\sim1\,815)\times10^{-6}$, 为中等—好烃源岩; 泥岩的TOC值为0.3%~5.5%, 均值为1.1%, HC为 $(10\sim1\,700)\times10^{-6}$, 为中等—好烃源岩; 灰质泥岩的TOC值为0.6%~1.4%, 均值0.9%, HC为 $(15\sim85)\times10^{-6}$, 为较差—中等烃源岩。

Wickliffe组海相泥岩样品的实测 R_o 为0.22%~1.15%。这套泥岩在盆地南部斜坡带和东部次坳的上覆地层薄, 整体埋藏浅(图1, 图3), 大部分处于未成熟—低熟阶段; 在中央坳陷埋深较大, 可以达到成熟生油生气阶段。以前述Taratu组烃源岩生油门限3 000 m计, Wickliffe组烃源岩成熟区多分布于中央坳陷, 面积达25 855 km²。

4 类比与讨论

新西兰南大盆地与塔腊纳基盆地以及澳大利亚的吉普斯兰(Gippsland)盆地, 在侏罗纪—白垩纪构造位置相邻, 具有相似的构造—沉积演化特点, 均发育陆内裂谷期陆相河流—湖沼相和拗陷期海陆过渡相, 并且烃源岩热演化程度相当。目前在勘探程度较高的塔腊纳基盆地及吉普斯兰盆地已找到裂谷期—拗陷期煤系地层所生成的大量煤型油气^[20]。南大盆地晚白垩世和古新世烃源岩TOC平均值大于2%, 煤系烃源岩广泛发育, 尤其是Hoiho群 R_o 达到1.3%以上的区域面积有4 850 km², 应有很大的生气潜力, 足以

形成商业性油气藏^[17]。

如果单从煤系烃源岩分布面积的角度, 与中国南海的油气勘探相类比, 推测南大盆地Hoiho群是个巨大的生气灶, 研究区应能发现大规模的天然气藏。琼东南盆地崖南凹陷西北部三角洲(含煤系烃源岩)面积只有200 km², 但在其周边已发现了包括崖城13-1大气田在内的上千亿立方米天然气; 珠江口盆地白云凹陷北坡煤系三角洲面积约4 000 km², 发现的天然气已超过 $2\,000\times10^8\text{ m}^3$ ^[21]。

5 结 语

新西兰南大盆地主要发育了晚白垩世—古新世三套烃源岩, 即裂谷期Hoiho群陆相湖沼煤系烃源岩、拗陷期Taratu组海岸平原相—沼泽煤系烃源岩以及Wickliffe组海相泥岩。其中, 中央坳陷的Hoiho群煤系烃源岩有机质丰度高、成熟体积大, 非常值得探索。

参 考 文 献

- [1] 童晓光, 关增森. 世界石油勘探开发图集(亚洲太平洋地区分册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 243-265.
- [2] 李国玉, 金之钧. 世界含油气盆地图集(下册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 573-575.
- [3] Cook R A, King P R. The Taranaki Basin: A summary of the hydrocarbon potential and geology with particular emphasis on onshore Taranaki[C]// Ministry of Energy. Petroleum Exploration in New Zealand News. Wellington, 1987.
- [4] Funnell R H, Allis R G. Hydrocarbon maturation potential of offshore Canterbury and Great South Basins[C]// Ministry of Economic Development. New Zealand Petroleum Conference Proceedings. Wellington, 1996: 22-30.
- [5] Killips S D, Cook R A, Sykes R. Petroleum potential and oil-source correlation in the Great South and Canterbury Basins[J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1997, 40(4): 405-423.
- [6] Pearson A R. The Great South Basin—Antrim International's exploration strategy[C]// Ministry of Economic Development. New Zealand Petroleum Conference Proceedings. Wellington, 1998: 123-139.
- [7] Jillett D N. Diagenesis of the Late Cretaceous Kawau Sandstone, Great South Basin, New Zealand[C]// Ministry of Economic Development. New Zealand Petroleum Conference Proceedings. Wellington, 2000: 334-345.
- [8] Baillie P, Uruski C. Reassessment of the prospectivity of the New Zealand Cretaceous: Navigating with an Astrolabe[C]// Crown Minerals, Ministry of Commerce. New Zealand Petroleum Conference Proceedings, Publicity Unit. New Zealand, 2004: 1-11.

- [9] Uruski C I. New Zealand's deepwater frontier[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(9): 2005-2026.
- [10] 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.
- [11] 张功成. 源热共控论[J]. *石油学报*, 2012, 33(5): 724-738.
- [12] Sutherland R, King P, 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: 25-28.
- [13] Collet J, Herzer R, Lafoy Y, et al. Mesozoic history of the Fairway-Aotea Basin: Implications for the early stages of Gondwana fragmentation[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009, 10(12): doi: 10.1029/2009GC002612.
- [14] Cook R A, Sutherland R, Zhu H, et al. Cretaceous-Cenozoic geology and petroleum systems of the Great South Basin, New Zealand[C]// Hutt L. Institute of Geological & Nuclear Sciences Monograph, 20. New Zealand, 1999: 188, 2 enclosures.
- [15] Crampton J, Laird M, Nicol A, et al. Palynostratigraphic reconstructions of southeastern Marlborough, New Zealand, for Late Cretaceous to Eocene times[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 2003, 46(2): 153-175.
- [16] Schiøler P, Rogers K, Sykes R, et al. Palynofacies, organic geochemistry and depositional environment of the Tartan Formation (Late Paleocene), a potential source rock in the Great South Basin, New Zealand[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27(2): 351-369.
- [17] Cook R A, Beggs J M. The exploration potential of the Great South Basin[C]//Ministry of Commerce. New Zealand Petroleum Conference: Proceedings. New Zealand. 1990: 1, 55-61.
- [18] 张功成, 杨海长, 陈莹, 等. 白云凹陷——珠江口盆地深水区一个巨大的富生气凹陷[J]. *天然气工业*, 2014, 34(1): 11-25.
- [19] 魏国齐, 李剑, 张水昌, 等. 中国天然气基础地质理论问题研究新进展[J]. *天然气工业*, 2012, 32(3): 6-14.
- [20] Shanmugam G. Significance of coniferous rain forests and related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippsland Basin, Australia[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69(8): 1241-1254.
- [21] 张功成, 苗顺德, 陈莹, 等. “源热共控”中国近海天然气富集区分布[J]. *天然气工业*, 2013, 33(4): 1-17.

编辑:董庸

Hydrocarbon Generation Potential in Great South Basin, New Zealand

Jin Li, Yang Songling, Ke Ling, Luo Zongqiang, Sun Cuijuan

Abstract: Great South Basin has experienced three tectonic evolution stages, i.e. the rifting, the depression and the passive margin stages. Three set of source rocks developed in the basin, which are Hoiho Group coal-measures that formed during the rifting stage, and Taratu coastal plain coal-measures and Wickliffe marine mudstone that formed during the depression stage. In the light of Zhang's "source-heat co-control" theory, it is indicated that Hoiho Group coal-measures should be the principle gas source rock owing to their deep burial and large effective volume with abundant organic matter and high thermal evolution. Besides Taratu coal-measures may be also effective source rock in local areas. It is believed that Central Depression where thick source rocks develop is of giant hydrocarbon potential.

Key words: Source rock; Hydrocarbon potential; Co-control of source and heat; Great South Basin; New Zealand

Jin Li: Senior Geology Engineer. Add: Overseas Assessment Center of CNOOC Research Institute, 6 Taiyanggong Nan Jie, Beijing, 100028, China