

文章编号: 1000-0747(2006)05-0643-05

秘鲁 Marañon 盆地油气地质特征及勘探潜力分析

王青^{1,2}, 张映红³, 赵新军², 朱恩永², 杨瑞财², 农贡², 刘宇²

(1. 中国地质大学(北京); 2. 中国石油天然气勘探开发公司; 3. 中国石油勘探开发研究院)

摘要: 秘鲁 Marañon 盆地是安第斯山山前的前陆盆地之一。结合该盆地的勘探历史和勘探现状,对相关的钻井、物探以及地球化学等资料进行石油地质综合分析,评价了该盆地的石油地质条件及其勘探潜力。Marañon 盆地内有三叠-侏罗系的 Pucara 组和白垩系的 Chonta 组两套主要烃源岩,分别于晚侏罗世和始新世开始成熟生烃。Pucara 组生成的原油运移至该组地层的剥蚀面,充注至白垩系,但遭到后期造山运动的破坏,通过再次运移聚集成藏; Chonta 组生成的原油向盆地东北部运移聚集成藏。盆地内的圈闭类型有背斜、断鼻、断块和地层圈闭等,可能发育多套储盖组合。Marañon 盆地西部逆冲-前渊带和无古生界构造圈闭背景的白垩系圈闭、Pucara 组碳酸盐岩圈闭以及白垩系 Chonta 组以下地层潜在的含油气圈闭是该盆地 3 个重要的潜力勘探领域。图 4 表 1 参 24

关键词: Marañon 盆地; 石油地质; 勘探潜力; 前陆盆地; 秘鲁

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Petroleum geological characteristics and exploration potential analysis of Marañon Basin, Peru

WANG Qing^{1,2}, ZHANG Ying-hong³, ZHAO Xin-jun², ZHU En-yong²,
YANG Rui-cai², NONG Gong², LIU Yu²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China National Oil and Gas Exploration & Development Corporation, Beijing 100034, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Marañon Basin is one of Sub-Andean foreland basins. With the basin's exploration history and current situation, drilling, seismic and geochemical data are analyzed to evaluate the petroleum geological factors and exploration potential. There are two sets of source rocks, Triassic-Jurassic Pucara and Cretaceous Chonta Formations. They began to be mature and expel hydrocarbons in the late Jurassic and Eocene. Hydrocarbons from the Pucara formation moved through unconformity towards Cretaceous formations, and re-accumulated after the Quechua tectonic movement. Hydrocarbons expelled from the Chonta Formation migrated toward the Northeast of the basin. Anticlinal, faulted and stratigraphic traps are commonly found in the basin. Three exploration targets exist in the basin: thrustfold-foredeep belt as well as Cretaceous reservoir without the background of hydrocarbon accumulation in Paleozoic; carbonate reservoir in the Pucara Formation; reservoir below the Chonta Formation.

Key words: Marañon Basin; petroleum geology; exploration potential; foreland basin; Peru

1 概况

秘鲁共和国位于南美洲西北部,东部毗邻巴西,南部与玻利维亚、智利相连,西濒太平洋,北部与厄瓜多尔、哥伦比亚接壤。Putumayo-Oriente-Marañon 盆地地跨 3 个国家,哥伦比亚部分称为 Putumayo 盆地,厄瓜多尔部分称为 Oriente 盆地,秘鲁境内部分称为 Marañon 盆地,即本文讨论的部分。

Marañon 盆地位于秘鲁共和国的北部,面积约为 35.1 万 km² (见图 1),处于安第斯地槽褶皱带的中段,东与巴西地盾相邻。该盆地油气勘探开始于 20 世纪 50 年代。1955 年 Texaco 公司钻探了第一口探井 (Marañon 8-1X 井),随后又钻了 2 口探井,但都为干

井;1960 年至 1970 年,厄瓜多尔 Oriente 盆地发现了大量油气, Marañon 盆地的勘探重新活跃起来;1971 年,秘鲁国家石油公司首先发现了 Corrientes 油田,此后陆续有新的油气田发现。但是,1990 年以来,由于没有新的勘探思路,勘探进展缓慢。

纵观 Marañon 盆地的勘探历史,自 20 世纪 70 年代以来,勘探主要围绕盆地前陆斜坡带埋藏浅、具有古生界构造背景的白垩系构造圈闭^[1,2]。由于在秘鲁从事油气勘探开发的外国油公司各自为政,勘探工作缺乏统一的部署,过分强调从经济角度出发,勘探和研究的层次和范围相对局限。

本文在深入现场调研、广泛收集资料的基础上,通过对钻井、地震以及地球化学等资料综合分析,探讨

Maranon 盆地的石油地质特征, 提出下步勘探的潜力区域。

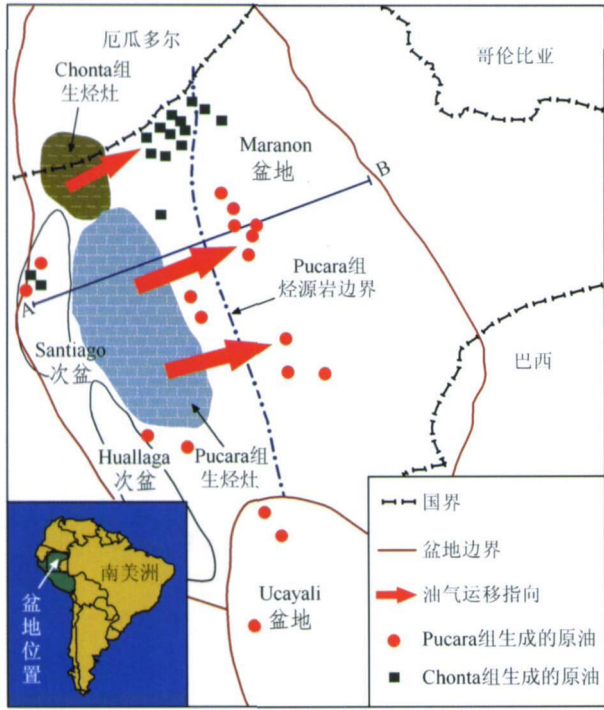


图1 Marañón 盆地地理位置及其主要生烃灶分布图^[3]

2 区域地质背景与构造特征

Maranon 盆地是具有多旋回沉积的安第斯山山前的弧后前陆盆地之一^[4-9], 早期为古生代被动大陆边缘的一部分。前寒武纪—古生代, 巴西地盾以西为狭长的地槽带; 海西运动早期, 安第斯地槽紧密褶皱, 局部变质, 部分地层因抬升而被侵蚀。晚二叠世—早三叠世, 盆地处于拉伸背景下, 古生界地台和基底被分成若干个地堑和半地堑, 并在盆地西部边缘形成深的裂谷盆地。晚三叠世—中侏罗世, 地槽区继续沉降, 中侏罗世晚期, 中科迪勒拉山隆起, 大量碎屑岩向东超覆沉积在地盾的古老岩系上。晚白垩世—第三纪早期, 安第斯褶皱变形开始, 该前陆盆地开始形成。在经历了中新世以来的 Quechua 造山运动以后, 盆地开始呈现目前形态。

Maranon 盆地沉积岩厚度大, 整体为不对称向斜, 自西向东地层变薄, 西部构造明显, 有大量平行于安第斯褶皱山系走向的背斜, 东部褶皱平缓, 地层呈单斜状超覆或尖灭在巴西地盾边缘(见图 2)。盆地基底为前寒武系变质岩, 奥陶系大多已变质, 泥盆系为砂岩、页岩, 二叠系、三叠系和石炭系发育砂岩、泥岩, 部分发育石灰岩; 三叠—侏罗系的 Pucara 组主要为海相—海陆过渡相的碳酸盐岩和膏岩沉积, 其上覆岩层为侏罗系

Sarayaquillo 组陆相红层。侏罗系顶部形成区域性 Nevadan 不整合面, 其上的白垩系主要发育河、湖相沉积, 以暗灰色泥岩、灰—白色砂岩为主, 夹石灰岩, 约厚 1000m, 为盆地主要含油层系; 古近系以红色碎屑岩为主, 最厚可达 2000m 以上(见图 3)^[10-13]。

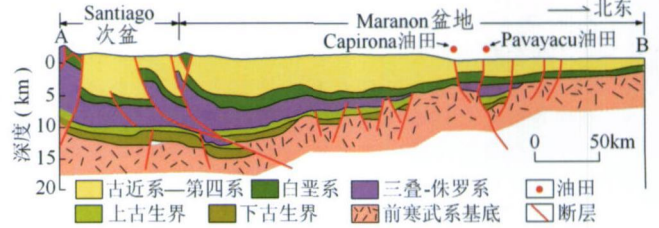


图2 Marañón 盆地剖面图(剖面位置见图 1; 据文献[1], 有改动)

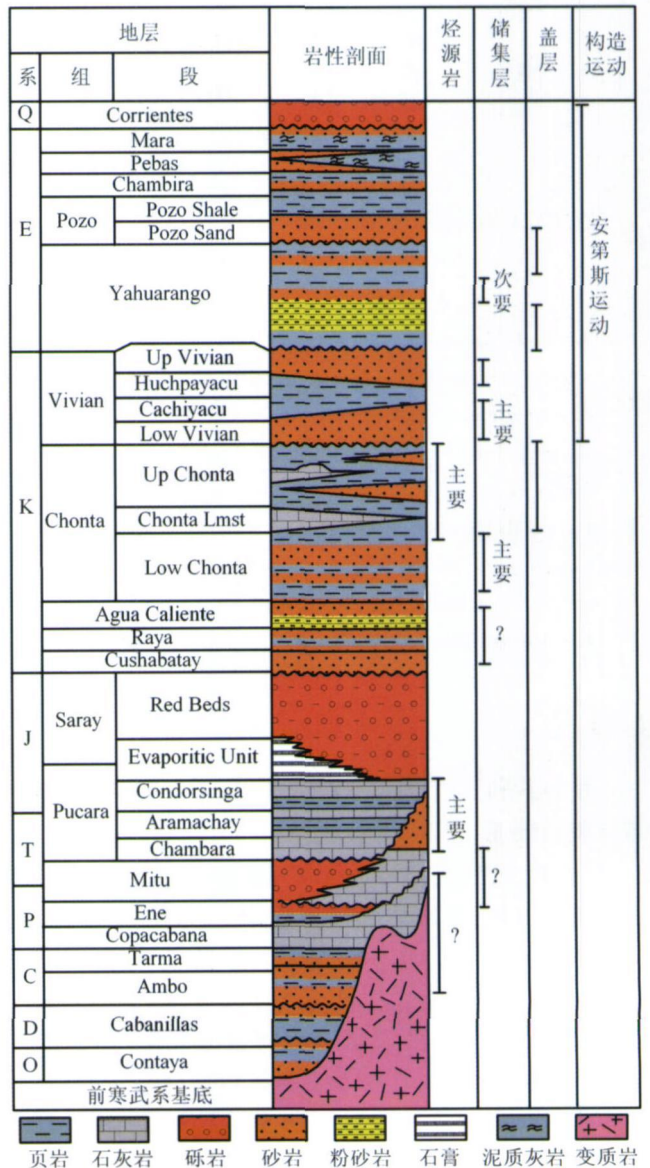


图3 Marañón 盆地地层柱状图^[1, 2]

3 Marañon 盆地基本石油地质条件

3.1 烃源岩

Marañon 盆地发育多套潜在烃源岩^[1-3, 14, 15], 其中最重要的 2 套为白垩系的 Chonta 组和三叠-侏罗系的 Pucara 组(见表 1)。

表 1 Marañon 盆地的主要烃源岩参数表^[3]

烃源岩	层位	有机碳含量(%)	干酪根类型
Chonta 组	K	2~3	Ⅰ型
Raya/Cushabatay 组	K	1~65	Ⅰ型
Pucara 组	J-T	1~12	Ⅱ型
Ambo/Tarma/Copacabana 组	G-P	5~35	Ⅲ型

Chonta 组烃源岩是 Marañon 盆地及其以北厄瓜多尔的 Oriente 盆地多处油田的油源。该组泥岩有机质主要为 Ⅰ型或 Ⅱ型干酪根, 有机碳含量一般为 2%~3%, 生烃潜量一般为 100~280 mg/g, T_{max} 值一般为 440~442℃, 目前 R_o 值约 0.83%。Chonta 组烃源岩的烃源灶主要分布在 Marañon 盆地的北部—西北部(见图 1), 由于 Chonta 组由盆地的北部向东南颗粒变粗, 导致其烃源岩总体逐渐变差。

Pucara 组烃源岩主要为碳酸盐岩, 夹富含有机质的泥岩。该组烃源岩的有机质类型主要为 Ⅱ型干酪根, 有机碳含量为 1%~12%, 绝大部分样品的有机碳含量为 2%~5%, 考虑到这些样品的成熟度高, 估计这些样品的原始有机碳含量为 4%~8%。该组烃源岩主要分布在盆地西部, 并延伸至 Ucayali 盆地的北部(见图 1), 总体具有西厚东薄的特点, 在盆地中部区域剥蚀和尖灭(见图 4)。根据露头资料, Pucara 组厚达 1000m, 其中夹有 50m 厚的富含有机质的泥岩。该烃源岩是 Marañon 盆地中东部多个油田的油源。

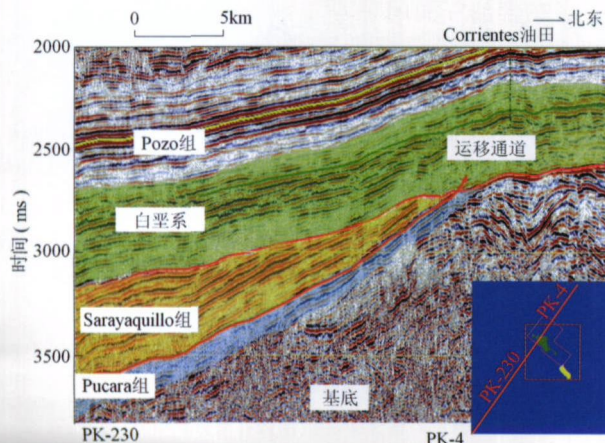


图 4 Pucara 组剥蚀和尖灭示意图^[2, 3]

除此之外, 白垩系的 Raya 组、Agua Caliente 组、Cushabatay 组也具备烃源岩的特征, 但有机质类型主

要为 Ⅱ型和 Ⅲ型干酪根。泥盆系的 Cabanillas 组烃源岩有机碳含量一般为 1%~2%, 目前处于过成熟状态, 主要分布在盆地的东南部。石炭系的 Ambo 组、Tarma 组和二叠系的 Copacabana 组、Ene 组、Mitu 组有机质类型主要为 Ⅱ型干酪根, 主要分布在盆地南部。

3.2 成熟度与油气运移

Marañon 盆地西部地热梯度约为 2℃/100m, 向东逐渐升高, 至前陆斜坡区域升至 3.5~4.0℃/100m。 R_o (平均)-深度曲线表明, 地层埋藏至 3km 时开始生油, 埋藏至 5km 时进入生油高峰期, 埋藏至 8~9km 时生油结束。盆地模拟研究结果^[2, 3, 15]表明, Pucara 组和 Chonta 组烃源岩分别在晚侏罗世和始新世开始成熟。

Marañon 盆地的原油可以划分为两大族群:

Tambo/Sungachi 原油, 原油母质类型为 Ⅰ型干酪根, 主要分布在盆地的北部, 油源来自 Chonta 组烃源岩。Samiria 原油, 原油母质类型为 Ⅱ型干酪根, 高含硫, 反映烃源岩发育于碳酸盐岩还原环境, 油源来自 Pucara 组烃源岩; 该原油气相色谱图存在正构烷烃分布“双峰”现象, 推测为两期充注的结果^[1, 2, 11, 13, 15]。油源对比结果表明, Chonta 组生成的原油向盆地东北部运移; Pucara 组生成的原油向盆地中东部运移至该组地层剥蚀面, 充注至白垩系, 水平运移距离约为 200km。

3.3 圈闭类型

Marañon 盆地的原型盆地为伸展型盆地, 存在裂陷阶段形成的正断层断块圈闭。晚白垩世和古近纪, 早安第斯期的挤压和冲断运动导致盆地边缘逆冲带的形成, 在逆掩冲断作用下, 又形成一些断块圈闭。造山带附近发育的逆断层比较陡, 盆地西部边缘发育了一些基底卷入型的逆断层。盆地东部斜坡带的逆断层明显变缓, 发育了薄皮型的逆断层。盆地中西部由于受到持续挤压, 形成了大量中—高幅度的背斜、断背斜等构造圈闭。盆地东部的地层向克拉通台地方向逐层超覆, 决定了盆地的东部发育地层圈闭。

3.4 储集层和盖层

Marañon 盆地的不同演化阶段发育了不同的沉积相带, 沉积相带控制了盆地内储盖组合的发育。该盆地下部的台地内伸展盆地和上部受造山活动影响的冲断期间以及冲断活动之后的沉积, 决定了盆地可能有多套储、盖组合发育(见图 3)^[4, 10, 12, 16-24]。

从目前已发现的油气藏来看, Marañon 盆地的储集层有白垩系的 Cushabatay 组、Agua Caliente 组、Chonta 组和 Vivian 组, 以及古近系的 Basal Tertiary 组。其中 Vivian 组和 Chonta 组为主要的储集层, 其

探明储量占该盆地总探明储量的 95% 以上。Vivian 组储集层为河流相沉积, 孔隙度 10%~25%, 渗透率 400~8000mD, 平均油层净厚度约 15m, 西部的 Capahuari Norte 油田的储集层埋藏深度为 3688m, 东部的 Bartra 油田的储集层埋藏深度为 2225m, 由西向东变浅。Chonta 组储集层为浅海相沉积, 孔隙度 12%~22%, 渗透率 20~2000mD, 平均油层净厚度约 10m; 向东储集层中的砂岩比例总体不断增大, 主要原因是东部的巴西地盾为盆地的主要物源区。

Chonta 组上部发育的灰岩以及泥岩可作为下部储集层的盖层。白垩系顶部的泥岩以及巨厚的古近系泥岩是 Vivian 组储集层的盖层。

4 已知油气聚集成藏规律及潜在勘探领域

目前 Maranon 盆地已发现的油气田有 30 多个, 大部分为探明可采储量小于 2000 万桶的小油田。纵向主要分布在白垩系 Vivian 组和 Chonta 组, 平面主要分布在盆地北部和东北部。原油重度为 10~40°API, 重油所占的比例不到 25%。Chonta 组生成的原油向盆地北部(厄瓜多尔南部)和东北部运移, 注入白垩系顶部的 Vivian 组(下生上储)和 Chonta 组下部(上生下储), 在秘鲁境内形成的主要油田有 Tambo 油田、Bartra1 油田、Dorissal 油田等。Pucara 组生成的原油向盆地东北部侧向运移, 运移至该组地层剥蚀面, 沿剥蚀面充注至白垩系。中新世以来的 Quechua 造山运动破坏了早期形成的油气藏, 通过再次运移聚集成藏, 形成的主要油田有 Corrientes 油田、Pavayacu 油田、Yanayacu 油田等。Maranon 盆地的勘探活动一直集中在盆地东部和东北部的斜坡带, 勘探埋藏较浅、具有古生界构造背景的白垩系圈闭, 其中寻找油源为 Pucara 组的油藏的勘探活动主要集中在 Pucara 组剥蚀边界以西的有利部位。

通过上述对 Maranon 盆地石油地质特征的分析, 结合早期勘探发现经验, 认为该盆地有如下几方面勘探潜力领域: 盆地西部的逆冲—前渊带的圈闭和没有古生界构造圈闭背景的圈闭。盆地西部目标地层埋藏深度大(4800~5200m), 勘探成本高, 但是距离烃源岩近, 油气运移不缺乏通道(较大的逆断层一般都贯穿到被动边缘沉积地层中), 油气一旦遇到合适的圈闭就可聚集成藏, 因此, 盆地西部的逆冲—前渊带区域是重要的潜力勘探领域。另外, 没有古生界构造背景的圈闭也是勘探的潜在领域之一, 应着重寻找具有古生界地层油气藏背景(或现在的古生界构造未闭合的圈闭)的勘探目标。Pucara 组碳酸盐岩圈闭。目前盆地内

钻遇 Pucara 组的探井共 4 口, 且均分布在盆地的西南部。其中的 Shanusi 1 井钻遇潮间带含气多孔碳酸盐岩, 该井钻遇 Pucara 组顶部深度为 4470m, 但仅钻穿 Pucara 组 18m。埋藏史分析结果显示, 该井钻遇的 Pucara 组已进入生气窗。Pucara 组作为优良的烃源岩, 如果存在碳酸盐岩储集层, 就有较大的天然气勘探潜力。白垩系 Chonta 组以下地层的油气也是下步勘探的重要领域。盆地白垩系以下地层存在多套潜在的生储盖组合, 如古生界潜在的烃源岩(Mitu 组、Ene 组、Copacabana 组等)、潜在储集层(如 Agua Caliente 组、Raya 组、Cushabatay 组等)。目前盆地以南的 Ucayali 盆地已经在 Chonta 组以下的地层发现了油气, 因此该勘探领域值得重视。

5 结论

Maranon 盆地是具有多旋回沉积的弧后前陆盆地, 于晚白垩世—古近纪早期形成, 中新世以来的 Quechua 造山运动使盆地呈现目前的形态, 其原型盆地为地台内伸展型盆地。盆地沉积岩厚度大, 整体构造为不对称向斜, 西部构造明显, 东部相对平缓, 地层呈单斜状, 超覆或尖灭在巴西地盾边缘。

Maranon 盆地有三叠—侏罗系 Pucara 组和白垩系 Chonta 组两套主要烃源岩, 分别于晚侏罗世和始新世开始成熟生烃; 盆地内的原油可以划分为两大族群, 分别来自上述两套烃源岩, 并且两类原油有各自的运移通道。盆地内的圈闭类型以背斜、断鼻、断块和地层圈闭为主, 发育多套储盖组合。

Maranon 盆地有 3 个勘探潜力区域: 盆地西部逆冲—前渊带和没有古生界构造圈闭背景的白垩系圈闭、Pucara 组碳酸盐岩圈闭以及白垩系 Chonta 组以下地层潜在含油气圈闭。

参考文献:

- [1] Debra K Higley. The Putumayo-Oriente-Maranon Province of Colombia, Ecuador, and Peru Mesozoic-Cenozoic and Paleozoic Petroleum Systems[R]. USA: U. S. Geological Survey, 2001. 1-31.
- [2] Gary Wine. Maranon basin technical report about the hydrocarbon potential of NE Peru, Huallaga, Santiago and Maranon basin study[R]. Lima, Peru: Parsep, 2002. 1-60.
- [3] Von der Dick H. Oil generation in sub-Andean basins of Peru [R]. Calgary, Canada: CTI, 2000. 1-35.
- [4] 何登发, 吕修祥, 林永汉, 等. 前陆盆地分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. (HE Deng-fa, LÜ Xi-xiang, LIN Yong-han, et al. Analysis of foreland basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.)
- [5] Kley J, Monaldi C R, Salfity J A. Along-strike segmentation of

- the Andean foreland: cause and consequences [J]. Tectonophysics, 1999, 301(1): 75-94.
- [6] Tankard Enterprises Ltd. Tectonic framework of basin evolution in Peru[R]. Calgary, Canada: Tankard Enterprises Ltd, 2002. 1-45.
- [7] Coltorti M, Ollier C D. Geomorph and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes[J]. Geomorphology, 2000, 32(1): 1-19.
- [8] Marksteiner R, Aleman A M. Petroleum systems along the foldbelt associated to the Marañon-Oriente Putumayo foreland basins(Abstract)[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(8): 1311.
- [9] 甘克文, 李国玉, 张亮成, 等. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1982. (GAN Ke-wen, LI Guo-yu, ZHANG Liang-cheng, et al. Atlas of petroleum basins in the world[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982.)
- [10] Marocco R, Lavenu A, Baudino R. Intermontane Late Paleogene-Neogene Basins of the Andes of Ecuador and Peru, sedimentologic and tectonic characteristics[A]. Petroleum basins of South America[C]. AAPG Memoir 62, 1995. 597-613.
- [11] Valasek D, Aleman A M, Antenor M, et al. Cretaceous sequence stratigraphy of the Marañon-Oriente-Putumayo Basins, northeastern Peru, eastern Ecuador, and southeastern Colombia [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(8): 1341-1342.
- [12] Shanmugam G, Poffenberger M, Toro Alava J. Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and Napo ("T" and "U") Formation (Cretaceous), sacha field, Oriente basin, Ecuador[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 652-682.
- [13] Christophoul F, Baby P, Davila C. Stratigraphic responses to a major tectonic event in a foreland basin: the Ecuadorian Oriente basin from Eocene to Oligocene times[J]. Tectonophysics, 2002, 345(2): 281-298.
- [14] Sofer Z, Zumbege J E, Lax V. Stable carbon isotopes and biomarkers as tools to understanding genetic relationship, maturation, biodegradation and migration of crude oils in the northern Peruvian Oriente (Marañon) Basin [J]. Organic Geochemistry, 1985, 10: 377-389.
- [15] Matherone J M P, Montoya R M. Petroleum geology of the sub-Andean basins of Peru[A]. Petroleum basins of South America [C]. AAPG Memoir 62, 1995. 423-444.
- [16] Pindell J L, Tabbutt K D. Mesozoic-Cenozoic Andean paleogeography and regional controls on hydrocarbon systems [A]. Petroleum basins of South America[C]. AAPG Memoir 62, 1995. 101-128.
- [17] 王晓锋, 刘文汇, 徐永昌, 等. 塔里木盆地天然气碳、氢同位素地球化学特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 55-58. (WANG Xiao-feng, LIU Wen-hui, XU Yong-chang, et al. Natural gas carbon and hydrogen isotopic compositions in Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 55-58.)
- [18] 曾联波, 王贵文. 塔里木盆地库车山前构造带地应力分布特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 59-60. (ZENG Lian-bo, WANG Gui-wen. Distribution of earth stress in Kuche thrust belt, Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 59-60.)
- [19] 宋岩, 赵孟军, 柳少波, 等. 中国3类前陆盆地油气成藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 1-6. (SONG Yan, ZHAO Meng-jun, LIU Shao-bo, et al. Features of hydrocarbon accumulation in three types of foreland basins in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(3): 1-6.)
- [20] 陈发景. 前陆(或挠曲)盆地分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. (CHEN Fa-jing. Analysis of foreland basin [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992.)
- [21] 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. (JIA Cheng-zao, HE Deng-fa, LEI Zhen-yu, et al. Exploration of foreland thrust-fold belt [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.)
- [22] 贾承造. 中国中西部前陆冲断带构造特征与天然气富集规律[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 9-15. (JIA Cheng-zao. Foreland thrust-fold belt features and gas accumulation in Midwest China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 9-15.)
- [23] 贾承造, 魏国齐. “九五”期间塔里木盆地构造研究成果概述[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 11-14. (JIA Cheng-zao, WEI Guo-qi. The summary of the achievements on the tectonic researches in Tarim basin during the period of 9th Five-Year plan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 11-14.)
- [24] Pratsch J C. The location of major and gas fields: examples from the Andean foreland[J]. Journal of Petroleum Geology, 1994, 17(3): 327-338.

第一作者简介: 王青(1976), 男, 江苏六合人, 中国石油天然气勘探开发公司海外研究中心工程师, 现为中国地质大学(北京)博士研究生, 从事海外油气勘探项目评价工作。地址: 北京市海淀区学院路20号, 中国石油天然气勘探开发公司海外研究中心, 邮政编码: 100083; 电话: (010) 62098224。E-mail: wangqing@cnpcint.com

收稿日期: 2005-08-24 修回日期: 2006-07-20

(编辑、绘图 王孝陵)