

文章编号:1001-6112(2011)03-0226-07

哥伦比亚油气地质与勘探

刘亚明¹, 张春雷²

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油海外勘探开发公司, 北京 100034)

摘要:哥伦比亚油气资源丰富, 为南美第 4 大油气生产国, 是南美地区值得重点关注的国家之一。该文以石油地质理论为指导, 对哥伦比亚的油气地质特征和油气分布规律进行了分析, 指出了其勘探潜力。研究认为哥伦比亚具有构造复杂多变、盆地类型多、沉积地层发育齐全、烃源岩优越、储盖组合配置良好和圈闭类型丰富的特点, 其油气分布集中, 重油、常规油平面上分异明显, 油气成藏受烃源岩、运移通道和储盖组合的控制; 东部构造区、前陆盆地、第三系、构造圈闭、常规油气为未来勘探重点。研究结果能为哥伦比亚的油气勘探开发提供参考。

关键词: 油气地质; 油气分布; 勘探潜力; 哥伦比亚

中图分类号: TE177.75

文献标识码: A

Petroleum geology and exploration in Colombia

Liu Yaming¹, Zhang Chunlei²

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;*

2. International Exploration and Development Company, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: With rich oil and gas resources, Colombia is the 4th major petroleum producer in South America and attracts much attention. Guided by petroleum geology theory, the characteristics of petroleum geology and the principles of petroleum distribution have been studied, and the exploration potential has been summarized. Colombia is characterized by complex structure, various types of basin, complete sedimentary strata, excellent source rock, good reservoir-cap combination and various types of trap. Oil and gas are concentrated in several basins. Heavy oil and conventional oil are distinctive on plane view. Petroleum accumulation is controlled by source rock, migration pathway and reservoir-cap combination. The eastern tectonic zone, foreland basins, the Tertiary, structural traps and conventional oil and gas are the exploration focuses in the future. The studies provide a reference for the exploration and development of oil and gas in Colombia.

Key words: petroleum geology; hydrocarbon distribution; exploration potential; Colombia

哥伦比亚共和国(The Republic of Colombia)位于南美洲西北部, 西临太平洋, 北接加勒比海, 东与委内瑞拉, 东南与巴西, 南与秘鲁、厄瓜多尔, 西北与巴拿马为邻。面积 $114.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 人口 4 453 万(2003 年), 国语为西班牙语, 首都波哥大。中西部除沿海平原外, 为西、中、东 3 条平行的科迪勒拉山脉构成的高原; 南部有一系列火山锥; 西北部为马格达莱纳河下游冲积平原; 东部为亚马逊河冲积平原^[1]。

由于该国的油气主要集中在东部地区, 前期研究大多集中在东部盆地, 全国范围内的地质研究较少。本文期望通过研究, 能在宏观上对其油气地质

特征有一个整体的理解和认识, 为中国石油企业进入该国油气领域提供技术参考。

1 勘探概况

哥伦比亚的石油储量和产量在拉美地区位于委内瑞拉、巴西和阿根廷之后, 居第 4 位; 天然气储量仅次于委内瑞拉和巴西, 居第 3 位。石油工业为哥伦比亚的支柱产业, 油气勘探始于 1905 年, 之后经历了从发展到高峰再到低谷的发展阶段。近年来, 哥伦比亚又开始加大石油勘探开发投资, 努力提高石油储量, 并制定了在 2020 年前发现 $5.5 \times 10^8 \text{ t}$ 可采石油储量的目标^[2-3]。截止到 2008 年, 石油探明

收稿日期: 2010-07-30; 修订日期: 2011-04-12。

作者简介: 刘亚明(1980—), 男, 工程师, 从事石油地质与勘探研究工作。E-mail: liuyaming-hw@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“全球油气资源潜力分析与未来战略选区”(2008ZX05028)资助。

储量为 2×10^8 t, 占全球份额的 0.1%, 储采比为 6, 石油产量近年来有所下降, 年产 $3\ 050 \times 10^4$ t (2008 年), 石油消费量仅为 $1\ 070 \times 10^4$ t, 大部分用于出口; 天然气探明储量 0.11×10^{12} m³, 占全球份额的 0.1%, 储采比为 12.4, 产量为 91×10^8 m³ (2008 年), 近年来增长迅猛, 年消费量 82×10^8 m³ [4], 主要用于国内消费 (BP 能源统计, 2009); 待发现可采储量为石油 6.98×10^8 t, 天然气 $2\ 860 \times 10^8$ m³, 凝析油 670×10^4 t (USGS, 2000)。

2 油气地质特征

2.1 复杂多变的构造

哥伦比亚地处 3 个板块交汇地带, 受太平洋板块和加勒比板块俯冲的双重影响, 具有独特的构造演化特征, 其全境的地理、构造和盆地类型均受板块碰撞的影响。在中生代晚期, 哥伦比亚西部的太平洋板块向南美板块俯冲, 造成了一系列褶皱, 形成了近南北向的安第斯山脉, 以东、中、西科迪勒拉山为代表; 新生代中期, 北部的加勒比板块向南美板块斜向俯冲, 对北部构造进行二次改造, 使北部近南北向的逆冲断层转换成具右旋走滑性质的逆断层, 断裂走向从近南北向转换为东北—南西向 [5-7]。受其双重影响, 相应的发育了东、中、西 3 个构造区。东部构造区的西部以东科迪勒拉山前为界, 前寒武系基底之上覆盖了古生界—新生界沉积, 构造变形较温和。中部构造区的西部以 Romeral 断裂为界, 包括东科迪勒拉、Santa Marta 地块、Magdalena 河谷和中科迪勒拉的西延部分, 沉积和变质岩体系覆盖于 Grenvillian 基底之上, 该基底在古生代增生于南美板块边界之上, 构造活动最为强烈。Romeral 断裂以西皆为西部构造区, 由中生界—新生界大洋地层组成, 这些大洋地层在晚白垩世、古近纪和新近纪期间增生于南美陆架边缘之上, 构造活动强烈, 属于一个构造复合体, 由各种在强烈的斜向碰撞作用下高度变形的沉积/构造单元拼合而成, 形成一个西向的逆冲断裂体系之上 (图 1)。

哥伦比亚的构造演化可以分为 4 个阶段 [8-9], 前 2 个阶段是主要烃源岩发育阶段, 后 2 个时期是主要储层和盖层形成阶段及圈闭改造阶段 (图 2)。在平面上, 构造活动具有“西强东弱”的特征。西部的沿海地区和山间地区构造活动强烈, 逆冲断层发育, 以东北—西南向为主, 太平洋沿岸还发育火山锥。东部平原地区构造活动较弱, 仅在靠近安第斯山前地带发育逆断层, 靠近克拉通方向断层较少, 且多为正断层。

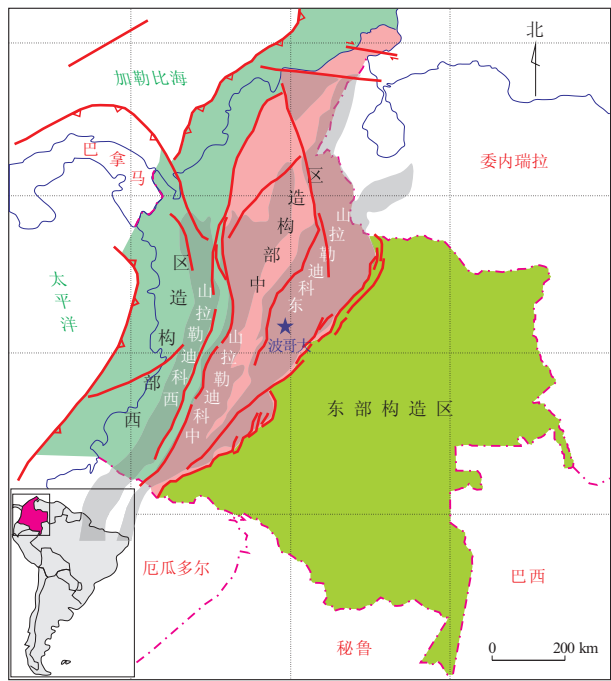


图 1 哥伦比亚地理位置及构造区划

Fig. 1 Location and tectonic zoning map of Colombia

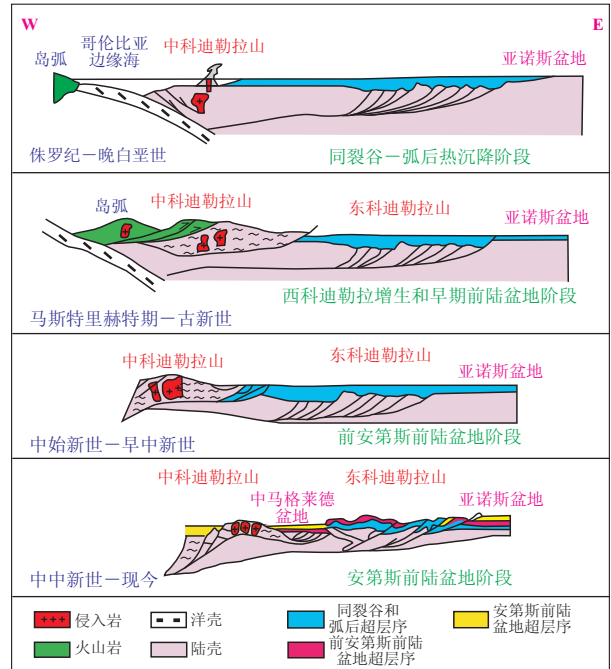


图 2 哥伦比亚构造演化史剖面

据 Cooper 等 [8], 1995, 有改动。

Fig. 2 Structural evolution section of Colombia

2.2 盆地类型多样

哥伦比亚由于其所处的板块位置特殊, 因而造就了其盆地类型的丰富多样 [10]。全国境内有 23 个沉积盆地, 总面积达 95×10^4 km², 占哥伦比亚国土面积的 80% 以上。依据盆地所处的位置及构造样式, 大致可分为东部构造区的前陆盆地 (盆地

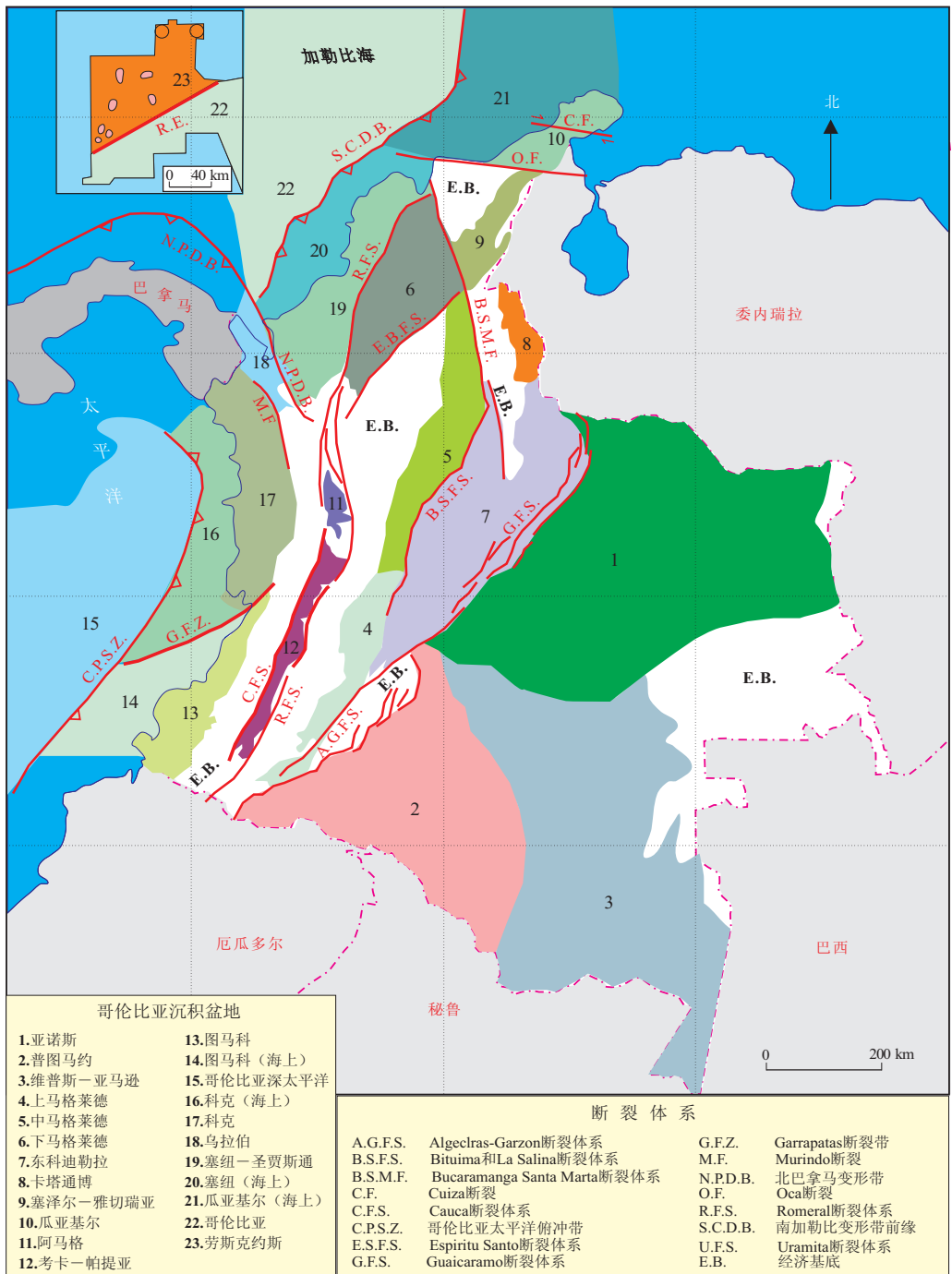


图 3 哥伦比亚盆地分布

Fig. 3 Distribution of basins in Colombia

编号 1,2)和克拉通盆地(盆地编号 3)、中部构造区的山间盆地(盆地编号 4—12)和西部构造区的弧前盆地(盆地编号 13—23)3类(图 3)。从资源潜力来看,第一类为前陆盆地,占盆地油气资源量 2/3 以上;第二类为山间盆地,占盆地油气资源量 1/3 左右;第三类为弧前盆地和克拉通盆地,资源量较小。

从古生代到晚新生代,哥伦比亚的盆地经历了拉张、斜向俯冲、转换挤压等构造阶段,因而在盆地走向和形状上逐步发生了重大变化。哥伦比亚大

多数的沉积盆地在晚三叠世 Pangea 古陆破裂时才开始形成。在侏罗纪—晚白垩世期间,哥伦比亚境内可简单的分为弧前和弧后两部分,相应的发育弧前和弧后裂谷 2 类盆地。此时山间盆地和克拉通边缘盆地还属于一个巨型弧后裂谷盆地,盆地的几何形态由于坎潘期和中新世的碰撞运动而发生巨大的改变。坎潘期—马斯特里赫特期西部洋壳的碰撞造成了哥伦比亚前陆盆地体系的隆升和发育。在中新世,由中美洲岛弧的碰撞而造成的第二期大

的转换挤压运动, 安第斯运动兴起, 科迪勒拉山隆起, 使哥伦比亚广泛分布的前陆盆地体系破碎而形成了破碎前陆盆地(山间盆地), 从而基本形成了哥伦比亚现今的构造形态。

哥伦比亚的油气都富集在第一和第二类沉积盆地中, 这类盆地不仅处于相同的区域地质背景, 而且具有大致相似的演化历程, 甚至与委内瑞拉、厄瓜多尔和秘鲁的主要含油气盆地相互之间有成因联系。北部的卡塔通博盆地相当于委内瑞拉的马拉开波盆地西南部分。普图马约盆地是厄瓜多尔和秘鲁的奥兰特—马拉开盆地的向北延伸部分, 中生代的原始大盆地不仅包括普图马约, 还包含马格莱德诸盆地。在晚中新世以前, 下、中和上马格莱德盆地以及普图马约盆地属于同一广阔的巨型盆地。亚诺斯盆地介于卡塔通博与普图马约盆地之间, 具有相似的石油地质条件。因此, 南美北部主要含油气盆地是一个巨型含油气体系。

2.3 发育齐全的沉积地层

哥伦比亚沉积演化总体上经历了海相—过渡相—陆相这一完整的海进海退旋回, 发育自寒武纪以来所有主要地质年代的地层。下古生界海相和滨岸相硅质碎屑岩和碳酸盐岩沉积广泛分布于东部构造区, 并延伸到中部构造区, 化石丰富。上古生界沉积岩由泥盆系海相黑色泥岩和陆相红层组成; 下侏罗统到下白垩统沉积在一个西北—东南—东北向高

度不规则体系中, 现今被上白垩统一新近系沉积所覆盖, 主要分布于中、东部构造区。晚白垩世—古近纪由于洋壳的斜向增生, 西、中、东科迪勒拉山遭受剥蚀, 沉积物也从海相、近滨相转换为陆相, 其上发育的不整合和河流相硅质碎屑岩沉积是古近系和新近系沉积的典型特征, 分布于哥伦比亚大部分地区, 形成了哥伦比亚大部分的油气储层。

各构造区的地层发育程度不一, 自西向东沉积地层逐渐增厚, 地层逐渐发育齐全, 西部构造区最薄, 仅沉积第三系(图 4)。

弧前盆地位于哥伦比亚西部和北部, 靠近大洋, 沉积较薄, 缺失白垩系以前的地层, 主要充填第三系海相成因的钙质和硅质碎屑沉积物, 上覆于白垩系火山质海相沉积层序之上。这类盆地包括塞纽—圣贾斯通、考卡—帕提亚和科克盆地等。

山间盆地代表近克拉通边缘盆地的西部拉张, 它们在安第斯造山期分离, 如: 上马格莱德、中马格莱德、东科迪勒拉和卡塔通博盆地等, 这些盆地沉积古生界海相地层、三叠—侏罗系陆相和海相地层、白垩系泥岩、灰岩和砂岩, 以及第三系陆相—过渡相沉积物, 是全球性的烃源岩最富集的盆地类型之一。

前陆盆地介于圭亚那—巴西地盾和安第斯山脉东缘之间, 盆地沉积地层发育齐全, 主要为下古生界、三叠系—侏罗系、上白垩统和第三系硅质碎

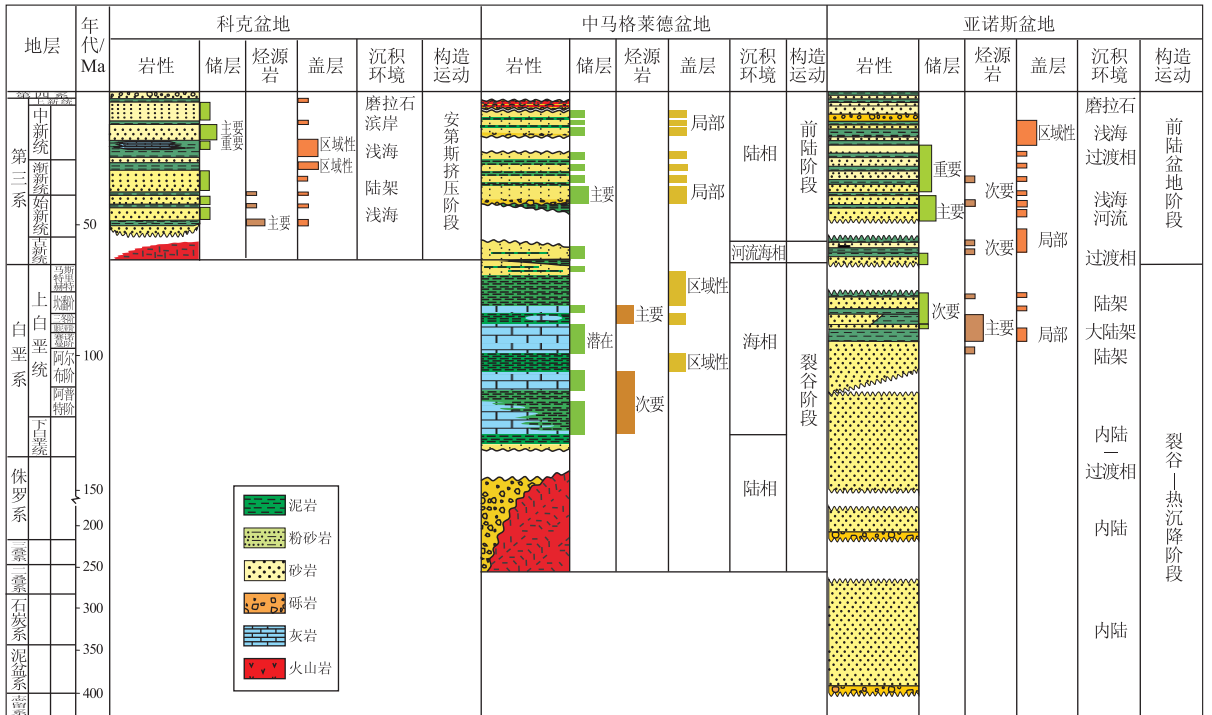


图 4 哥伦比亚地层发育特征
Fig. 4 Stratigraphic features of Colombia

屑岩沉积。沉积相类型包括海相、过渡相和陆相，主要为碎屑岩沉积，碳酸盐岩较少。

2.4 世界级的烃源岩

哥伦比亚的主要烃源岩是上白垩统泥岩，生成了哥伦比亚已发现的绝大部分油气^[11-12]。该套烃源岩形成于后裂谷阶段的中阿尔比期和土伦期，由于热沉降和全球性的海平面变化，广泛分布的洼陷，沉积了富含有机质的 Simiti-Tablazo、Tetuan 和 La Luna 组烃源岩，该套烃源岩丰富多产。上白垩统 La Luna/Cansonna 组为南美北部主要含油气盆地最主要的烃源岩，被称作“世界级”烃源岩。La Luna 组为哥伦比亚东部和中部构造区各盆地的主要烃源岩，为西部构造区的次要烃源岩。该套烃源岩在晚白垩世属于同一个海侵背景，由于第三纪的安第斯运动将其分割在各个盆地中。在东部构造区的盆地中名称有所不同，在亚诺斯盆地中称为 Gacheta 组，在普图马约盆地中称为 Villeta 组；在中部构造区的盆地中统一称为 La Luna 组(图 5)。

第三系碳质泥岩和煤层也是哥伦比亚重要的烃源岩，为西部构造区各盆地的主要烃源岩和东部构造区的次要烃源岩，在中部构造区无生烃潜力。在埋藏较浅的盆地中，这些烃源岩也能产生商业性的生物甲烷气(表 1)。

2.5 配置良好的储盖组合

哥伦比亚各盆地储层和盖层发育，可分为 2 期：裂谷期和前陆期。裂谷期储层以海相和过渡相为主，物源来自于克拉通方向，储层物性较好，晚白垩世海侵背景下发育的泥岩为裂谷期储层的区域性盖层，属下储上盖式组合，配置较好。前陆期发育的储层以过渡相—陆相为主，物源来自于安第斯山方向，沉积侧向相变快，区域性盖层不发育，多为层间泥岩，与储层互层，属互层式储盖组合，在局部也能形成相当规模的油气聚集。如亚诺斯盆地、中马格莱德盆地等，裂谷期属下储上盖式组合；前陆期属互层式组合，为各盆地最重要的储盖组合。

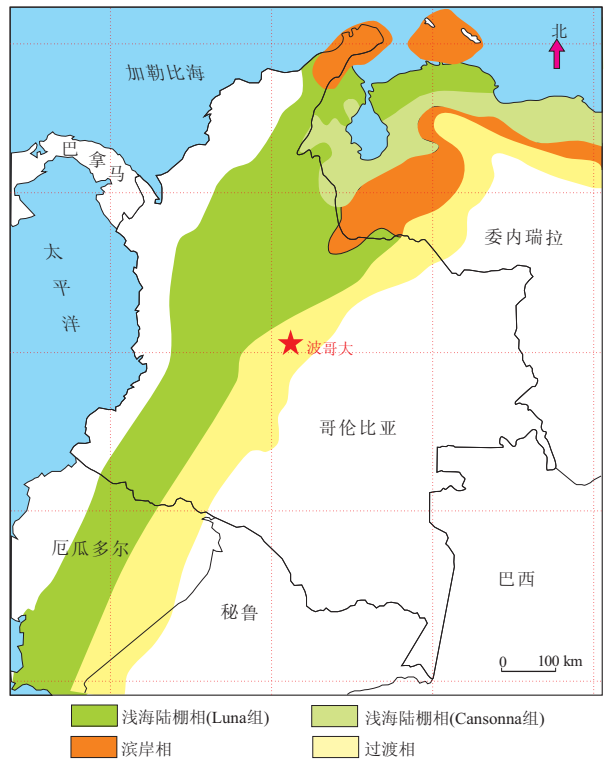


图 5 南美西北部晚白垩世沉积特征
Fig. 5 Sedimentary features of northwestern South America in Late Cretaceous

2.6 种类繁多的圈闭

哥伦比亚经历了多期构造演化，盆地类型多，相应的发育多种类型的圈闭^[13]。目前在 3 大构造区带上发现了涵盖 4 大类圈闭类型(构造、岩性地层、水动力、复合圈闭)的诸多圈闭(表 2)。

3 油气分布规律

3.1 油气集中分布，资源潜力巨大

在构造上，集中分布于中部、东部构造区，且以东部构造区最为重要，占全国油气储量的 2/3 以上。

在盆地上，油气集中分布在东部构造区的前陆盆地和中部构造区的山间盆地中，这 2 类盆地拥有哥伦比亚的绝大部分探明储量和所有的产量，其中亚诺斯前陆盆地的产储量又占全国的 2/3 以上，而

表 1 哥伦比亚主要烃源岩参数

Table 1 Main source rock parameters of Colombia

层位	组	构造区	岩性	干酪根	TOC/%	S ₂ / (mg · g ⁻¹)	R _o /%
上白垩统	La Luna	东部、中部	泥岩，少量灰岩	Ⅱ—Ⅲ	1.5~11.2	3.9~6.3	0.8~1.2
	Gacheta	东部	泥岩	Ⅲ	0.6~3	1.5~7.2	0.4~1.3
	Villeta	东部	泥岩	Ⅰ—Ⅱ	1~10	1.2~5.8	0.4~0.6
第三系	Cienaga de Oro	西部	泥岩	Ⅱ—Ⅲ	1~5	2.8~11	0.4~0.8
	Carbonera	东部	泥岩	Ⅱ—Ⅲ	0.4~4	平均 5	平均 0.56

表2 哥伦比亚主要圈闭类型及分布

Table 2 Main types and distribution of traps in Colombia

圈闭类型	亚类	构造区	勘探程度	资源潜力	油田实例
构造	背斜	西、中、东	东、中部	极大	Cusiana
	断层	西、中、东	构造区高、西部区低	极大	Cupiagua
	断背斜	西、中、东		极大	Guafita
岩性地层	岩性	东部	中等	大	Mateguafá
	岩性	中部	低	较大	Mimbre
	地层	东部	中等	大	EL Miedo
	地层	中部	低	较大	Chuchupa
水动力	水动力	东部	低	较大	Rubiales
	构造—岩性	东部	中等	大	Laurita
复合圈闭	构造—岩性	中部	低	较大	Cocorna
	构造—地层	东部	中等	较大	Paravare
	构造—地层	中部	低	较大	Chuchupa

西部构造区的弧前盆地所拥有的储量相对较少。

在油田方面,油气又主要集中在几个主要的大的油气田中,如亚诺斯盆地,到2009年底,累计发现油气田145个,探明可采储量为 9.88×10^8 t 油当量,其中仅 Apiay (0.86×10^8 t)、Cano Limon (1.57×10^8 t)和 Cusiana—Cupiagua (3.14×10^8 t)等3大油田的可采储量总量就达 6.28×10^8 t^[14-16],占整个盆地的56%,Cusiana—Cupiagua 油田的可采储量占全盆地的32%。

在层位上,以第三系为主,占全国油气储量的60%左右,白垩系相对较少,占40%左右。

在圈闭类型方面,以构造圈闭为主,多为断层、断背斜等断层相关圈闭,拥有全国的绝大部分储量;仅在东部构造区的前陆盆地中,非构造圈闭能聚集一定规模的油气。

在岩性上,以碎屑岩为主,全国的绝大部分油气皆聚集在砂岩储层中;部分为砾岩;碳酸盐岩较少,仅在中马格莱德等少数几个盆地中的碳酸盐岩储层有油气发现。

3.2 重油、常规油平面分异明显,重油资源丰富、分布集中

在哥伦比亚的油气资源中,重油占有一定的比重(30%左右),具 USGS 2007 数据,哥伦比亚的重油资源量约 35.3×10^8 t,可采储量约 3.53×10^8 t (采收率10%),主要分布在东部构造区的亚诺斯、普图马约盆地和中部构造区的中马格莱德、上马格莱德盆地,也具有集中分布的特征,其它盆地都是常规油气,重油与常规油气平面分异明显。

哥伦比亚的重油不仅集中分布在这几个富油气盆地中,且在每一盆地中也具有集中在一个区带的一个主要储层中的特征,如亚诺斯盆地,重油主

要分布在前陆斜坡隆起带,且主要分布于第三系的 Carbonera 组中。亚诺斯盆地的 Rubiales 重油油田的可采储量就达 0.71×10^8 t,占全国份额的20%。亚诺斯盆地的盆地结构、烃源岩类型、重油所在的前陆斜坡隆起带背景都与东委内瑞拉盆地的奥里诺科重油带(全球最大的重油聚集带)非常相似,具有很大的重油勘探潜力。

4 成藏控制因素

4.1 油气运移受断裂、不整合和连通砂体的控制

哥伦比亚由于构造演化期次多,造就了多种运移通道,断层、不整合和连通砂体均为有效运移通道,在油气运聚的不同阶段起着不同的作用。对于东部构造区,断层在初次运移和聚集过程中起到重要作用,为垂向运移通道,如 Romeral 和 Guaicaramo 等断裂体系,直接沟通油源和储层(图3)。不整合和连通砂体在二次运移中起主导作用,断层与之配合,接替运移油气,保证油气能长距离运移到前陆盆地的斜坡带,为油气运移的横向通道。对于中部和西部构造区,运移距离通常较短,以断层为主要运移通道。另外,断层是圈闭形成的重要条件,一个断裂带就是一个构造圈闭发育带,也是有利的油气聚集区带。

4.2 油气资源规模受主要储层的控制

哥伦比亚主要油气田的主力产层多为第三系,如亚诺斯盆地、中马格莱德盆地等,占全国产储量的60%以上。第三系以河流—三角洲相沉积体系为主,广泛发育碎屑岩沉积,砂岩十分发育,物性好。砂岩百分含量大多在60%以上,厚度大,储集空间以粒间溶孔为主,属高孔中渗的优质储层。白垩系为第二位的产储层,占全国产储量的30%以上;以海相—三角洲相为主,多为碎屑岩沉积,也发育一定规模的灰岩,如中马格莱德盆地,属中孔中渗储层。东部构造区的斜坡带长期处于构造隆起部位,遭受风化,其基岩也是潜在的储层,但目前尚无油气发现。

4.3 烃源岩控制着油气的平面分布

生烃凹陷控制了油气的平面分布,烃源岩的成熟度和生烃潜力控制了烃类的相态和油气的富集程度。

东部构造区和中部构造区的上白垩统主力烃源岩生烃潜力大,成熟度最高,目前已处于成熟—过成熟阶段,产生了大规模的油气。如东部构造区的前渊带,上白垩统埋藏深度达5 500 m 以上,烃源岩过成熟,现今以产干气为主。因而在东部和中

部构造区,为最重要的油气聚集区,且烃类相态以液态石油为主,但也产生一定规模的天然气,天然气约占油气总资源量的 20%~30%。而在西部构造区,由于烃源岩主要为第三系,埋藏浅,成熟度低,因而以未成熟油气为主,资源规模较小。

5 勘探建议

1) 东部构造区为重点勘探区,其次为中部构造区,有选择性的进入西部构造区。

2) 前陆盆地为重点勘探盆地。在东部构造区中,要以前陆盆地,尤其以亚诺斯盆地和普图马约盆地为重点;在中部构造区中,以上、中、下马格莱德盆地为重点,其次为东科迪勒拉盆地;在西部构造区中,以科克和塞纽—圣贾斯通盆地为重点,逐步勘探其他盆地。

3) 对于勘探层位,要以第三系为主,逐步加大白垩系及以前的老地层的勘探力度。

4) 构造圈闭为重点勘探目标。对于中、西部构造区,以构造圈闭勘探为主;对于东部构造区,在以构造圈闭为重点的同时,应加大前陆盆地斜坡隆起带的岩性地层和水动力圈闭勘探的力度。

5) 对于资源类型,应以常规油气,尤其是常规石油为勘探重点;逐步加大重油和天然气的勘探力度,亚诺斯盆地的重油资源潜力也应得到足够的重视。

参考文献:

[1] 百度. 哥伦比亚[EB/OL]. [2010-07-19]. http://baike.baidu.com/view/19755.htm?fr=ala0_1.

[2] Ketner C, Gettigan M, Hunt D G. 哥伦比亚持续有重要油气发现[J]. 吴官生,译. 石油勘探开发情报,1996(6):21-28.

[3] 景东升,高炳奇. 哥伦比亚油气资源勘探开发状况和管理政策[J]. 国土资源情报,2006(10):47-51.

[4] 王立敏. 从动荡与结构变化中认知世界能源市场:《BP 世界能源统计 2009》解析[J]. 国际石油经济,2009(7):44-52.

[5] 穆龙新,韩国庆. 奥里诺科重油带构造成因分析[J]. 地球物理学进展,2009,24(2):488-493.

[6] 穆龙新,韩国庆,徐宝军. 委内瑞拉奥里诺科重油带地质与油气资源储量[J]. 石油勘探与开发,2009,36(6):784-789.

[7] 张湘宁. 国际石油公司竞争的新热点:哥伦比亚石油勘探开发[J]. 世界石油工业,1997,4(7):13-18.

[8] Cooper M A, Addison T T, Alvarez R, et al. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Magdalena Valley, Colombia [J]. AAPG Bulletin, 1995,79(10):1421-1443.

[9] Restrepo P P. Petrotectonic characterization of the Central Andean Terrane, Colombia [J]. Journal of South American Earth Sciences,1992,5(1):97-116.

[10] Villamil T. Campanian—Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1999,153(1):239-275.

[11] Mann U, Stein R. 哥伦比亚上 Magdalena 河谷 Quebrada Ocal 剖面白垩系黑色页岩有机相变化、生油岩潜力及海平面变化[J]. 彭峰,李宏伟,译. 国外油气勘探,1998,10(1):1-19.

[12] Bachu S, Ramon J C. 哥伦比亚亚诺斯盆地地热状态及热史研究[J]. 白振瑞,译. 石油勘探开发情报,1996(3):1-14.

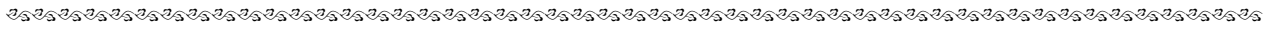
[13] Cazi E C. 哥伦比亚亚诺斯盆地山麓库西亚纳油田石油地质特征[J]. 刘奕爽,译. 石油勘探开发情报,1998(4):1-17.

[14] 徐宝华. 哥伦比亚开发库西亚纳油田的战略思考[J]. 拉丁美洲研究,1999(1):35-38,41.

[15] 杜瓦尔 B C, 瓦尔德斯 G B. 委内瑞拉—哥伦比亚—1:80 年代在南美洲发现的与 A 型俯冲有关的大型油气田[J]. 白振瑞,译. 石油勘探开发情报,1995(6):1-7.

[16] 杜瓦尔 B C, 瓦尔德斯 G B. 委内瑞拉—哥伦比亚—2:南美北部大型油气田[J]. 白振瑞,译. 石油勘探开发情报,1995(6):8-12.

(编辑 黄 娟)



(上接第 225 页)

[21] 董大忠,程克明,王世谦,等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业,2009,29(5):33-39.

[22] Hill D G, Lombardi T E. Fractured Gas Shale Potential in New York[M]. Colorado: Arvada, 2002:1-16.

[23] Nelson R A. Geologic analysis of naturally fractured reservoirs: Contributions in Petroleum Geology and Engineering 1[M].

Houston: Gulf Publishing Company, 1985:320.

[24] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京:石油工业出版社,2004:50-103.

[25] Ross D J K, Bustin R M. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology,2007,55(3):51-75.

(编辑 徐文明)