

文章编号: 1000-0747(2018)04-0727-10 DOI: 10.11698/PED.2018.04.19

# 全球油气资源潜力与分布

童晓光<sup>1,2</sup>, 张光亚<sup>1</sup>, 王兆明<sup>1</sup>, 温志新<sup>1</sup>, 田作基<sup>1</sup>,  
王红军<sup>1</sup>, 马锋<sup>1</sup>, 吴义平<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油国际勘探开发有限公司, 北京 100034)

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05029-001, 2016ZX05029-002, 2011ZX05028)

**摘要:** 采用以成藏组合为单元的常规、非常规油气资源评价方法, 对全球主要含油气盆地(不含中国)的常规油气资源和7种类型的非常规资源油气地质与资源潜力进行评价, 首次获得了具有自主知识产权的资源评价数据。经评价计算, 全球常规石油可采资源量为 $5\,350.0 \times 10^8$  t, 凝析油可采资源量为 $496.2 \times 10^8$  t, 天然气可采资源量为 $588.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>; 其中剩余油气2P(证实储量+概算储量)可采储量为 $4\,212.6 \times 10^8$  t, 已知油气田可采储量增长量为 $1\,531.7 \times 10^8$  t, 待发现油气可采资源量为 $3\,065.5 \times 10^8$  t。全球非常规石油可采资源量为 $4\,209.4 \times 10^8$  t, 非常规天然气可采资源量为 $195.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。评价结果表明, 全球常规与非常规油气资源仍然丰富。图19表12参16

**关键词:** 全球含油气盆地; 资源评价; 常规油气资源; 储量增长; 非常规油气资源

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

## Distribution and potential of global oil and gas resources

TONG Xiaoguang<sup>1,2</sup>, ZHANG Guangya<sup>1</sup>, WANG Zhaoming<sup>1</sup>, WEN Zhixin<sup>1</sup>, TIAN Zuoji<sup>1</sup>,  
WANG Hongjun<sup>1</sup>, MA Feng<sup>1</sup>, WU Yiping<sup>1</sup>

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China*; 2. *China National Oil and Gas Exploration and Development Company Ltd., Beijing 100034, China*)

**Abstract:** Using conventional and unconventional oil and gas resource evaluation methods with play as a unit, this study evaluates the oil and gas geology and resource potential of conventional oil and gas resources and seven types of unconventional resources in the global major oil and gas basins (excluding China). For the first time, resource evaluation data with independent intellectual property rights has been obtained. According to evaluation and calculation, the global recoverable conventional oil resources are  $5\,350.0 \times 10^8$  t, the recoverable condensate oil resources are  $496.2 \times 10^8$  t, and the recoverable natural gas resources are  $588.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>. The remaining oil and gas 2P recoverable reserves are  $4\,212.6 \times 10^8$  t, the reserve growth of oil and gas fields are  $1\,531.7 \times 10^8$  t. The undiscovered oil and gas recoverable resources are  $3\,065.5 \times 10^8$  t. The global unconventional oil recoverable resources are  $4\,209.4 \times 10^8$  t and the unconventional natural gas recoverable resources are  $195.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>. The evaluation results show that the global conventional and unconventional oil and gas resources are still abundant.

**Key words:** global oil and gas bearing basins; resource evaluation; conventional oil and gas resources; oil and gas reserve growth; unconventional oil and gas resources

引用: 童晓光, 张光亚, 王兆明, 等. 全球油气资源潜力与分布[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(4): 727-736.

TONG Xiaoguang, ZHANG Guangya, WANG Zhaoming, et al. Distribution and potential of global oil and gas resources[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(4): 727-736.

## 0 引言

2017年中国石油对外依存度为67.4%、天然气对外依存度达39%<sup>[1]</sup>, 英国石油公司(BP)预测2035年中国石油对外依存度为76%、天然气对外依存度将超过42%<sup>[2]</sup>。全球油气地质与资源潜力评价是开展国外

油气合作业务的基础。国际大石油公司和研究机构已纷纷开展自主研究<sup>[3]</sup>, 但大多作为核心信息, 不对外公开。美国地质调查局(USGS)以含油气系统为核心, 开展了美国本土和全球部分盆地的油气资源评价, 并定期向公众发布<sup>[4]</sup>; 国际能源署(IEA)每年定期公布能源展望<sup>[5]</sup>; BP公司每年定期更新全球油气储量和产

量及消费现状<sup>[6]</sup>。这些数据是分析国际油气勘探潜力、油气供需和制定能源战略的基础。

自 2008 年以来,以国家科技重大专项及中国石油天然气股份有限公司重大科技专项为依托,创新形成了以成藏组合为单元的常规、非常规油气资源评价方法,全面完成了全球除中国以外的主要含油气盆地常规油气资源和 7 种类型的非常规资源油气地质与资源潜力评价,首次获得了具有自主知识产权的评价数据,为中国石油公司“走出去”和国家制定能源战略提供了重要的决策依据。

## 1 评价思路与评价方法

全球常规油气可采资源量由已采出量、剩余探明可采储量、已知油气田可采储量增长量和待发现可采资源量 4 部分构成。本文评价对于已采出量和剩余可采储量主要是通过 IHS 咨询公司的数据统计分析获得<sup>[7-8]</sup>;待发现可采资源量及已知油气田可采储量增长量主要是根据自主评价的结果。常规油气资源评价涵盖了除中国以外全球 425 个盆地、678 个成藏组合,基本包含了国外所有含油气盆地;非常规油气资源主要评价了致密油(包含页岩油)、重油、油砂、油页岩、页岩气、致密气、煤层气 7 种类型,评价范围为除中国以外的 363 个盆地、476 套层系。

### 1.1 待发现常规油气资源评价方法

待发现常规油气资源评价,以成藏组合为基本评价单元<sup>[9-11]</sup>,针对不同勘探程度及不同资料掌握程度,采用不同的评价方法,所有评价方法的参数选取均要以综合地质评价为基础。对于发现 6 个以上油气田的高勘探程度评价单元,采用发现过程法进行评价;对于中国石油天然气集团有限公司(CNPC)资产区采用圈闭加和法;对于发现 6 个以下油气田的中等勘探程度评价单元,采用基于地质分析的主观概率法;对于没有油气发现或资料掌握程度低的评价单元,采用体积类比法。最后采用蒙特卡洛模拟法将不同评价方法和不同评价单元的评价结果进行加和汇总。评价结果采用概率的表达方式,置信程度由高到低分别采用 95%、50%、5%和均值(Mean)表示<sup>[10-12]</sup>。

### 1.2 已知油气田常规储量增长评价方法

已知油气田常规储量增长是指油气田自发现后在评价和开发的整个生命周期中,由于滚动勘探、技术进步、计算方法改变及政治经济等因素而新增加的常规可采储量。全球每年新增常规可采储量的 70% 来自

于已知油气田储量增长<sup>[12-14]</sup>。由于单个油气田无法获得连续的不同年度的 2P 储量(证实储量+概算储量)数据,难以根据某一油田建立连续储量增长函数,因此采用分段累乘法求取不同油气田连续时间段 30 年间累计储量增长系数,建立油气田储量增长模型(见图 1)。不同大区采用各自的储量增长模型预测已知油气田储量增长潜力<sup>[12]</sup>。这种以大区储量增长为样本建立的储量增长函数针对性更强,评价结果更加合理。而美国 USGS 仅采用北美 1 种模型预测全球储量增长潜力<sup>[15]</sup>,适用性及可信度相对较差。

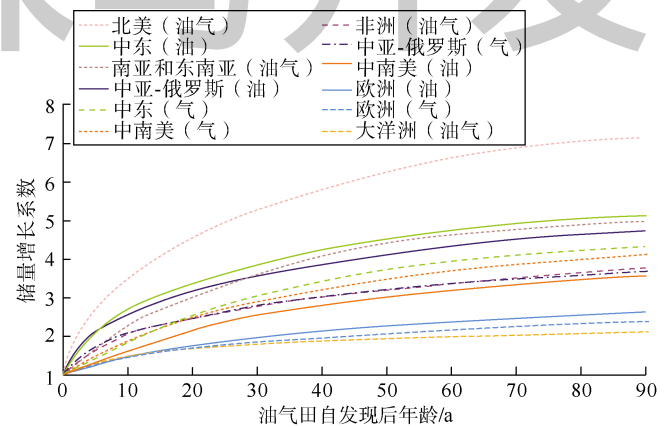


图 1 适用于不同地区的已知油气田储量增长曲线

### 1.3 非常规油气资源评价方法

针对全球非常规油气资源评价,依据盆地资料的详实程度、资源类型、勘探开发程度、评价需求和评价技术适用性等将盆地划分为一般评价盆地、详细评价盆地和重点评价盆地 3 个级别,分别采用参数概率法、GIS(地理信息系统)空间图形插值法、成因约束体积法和双曲指数递减法 4 种方法进行评价。一般评价盆地多为勘探开发程度较低、基础数据和基础图件缺乏的盆地,统一采用参数概率法进行评价;详细评价盆地为已有勘探开发活动、基础地质资料丰富但生产井产量数据缺乏的盆地;重点评价盆地为勘探活动和商业开发活跃、基础地质资料丰富、资源规模较大和生产井产量数据详实的盆地。对于重油、油砂、油页岩油、致密气和煤层气这些主要以储集层为核心的“储集层控型”资源富集的详细评价盆地,采用 GIS 空间图形插值法进行评价,重点评价的盆地还需要结合资源丰度、可采性及经济性等进行综合评价,优选出有利区块;对于致密油和页岩气这些主要以烃源岩为核心的“源控型”资源富集的详细

评价盆地和重点评价盆地，则采用成因约束体积法评价；而对于勘探开发程度高、生产井产量等开发数据详实的重要盆地则利用基础地质参数成图厘定有效评价区，采用双曲指数递减法评价，最终计算出有利区块的最终采出量<sup>[16]</sup>。

## 2 全球常规油气资源潜力

截至2015年底，全球累计产出石油 $1\ 280.6\times 10^8\ \text{t}$ ，采出程度23.9%；累计产出凝析油 $42.8\times 10^8\ \text{t}$ ，采出程度8.6%；累计产出天然气 $62.9\times 10^{12}\ \text{m}^3$ ，采出程度10.7%<sup>[7-8]</sup>。全球常规油气可采资源总量为 $10\ 727.9\times 10^8\ \text{t}$ 油当量，石油可采资源主要集中在中东、中亚-俄罗斯和中南美地区，为 $3\ 853.9\times 10^8\ \text{t}$ ，占比72.0%；凝析油主要集中在中东和北美地区，为 $265.8\times 10^8\ \text{t}$ ，占比53.6%；天然气主要集中在中亚-俄罗斯和中东地区，为 $354.4\times 10^{12}\ \text{m}^3$ ，占比60.2%。

全球常规石油可采资源量为 $5\ 350.0\times 10^8\ \text{t}$ 、凝析油可采资源量为 $496.2\times 10^8\ \text{t}$ 、天然气可采资源量为 $588.4\times 10^{12}\ \text{m}^3$ ；油气累计产量为 $1\ 918.2\times 10^8\ \text{t}$ ，采出程度为17.9%；剩余油气2P可采储量为 $4\ 212.6\times 10^8\ \text{t}$ ，占总量的39.2%；已知油气田可采储量增长量为 $1\ 531.7\times 10^8\ \text{t}$ ，占总量的14.3%；油气待发现可采资源量为 $3\ 065.5\times 10^8\ \text{t}$ ，占总量的28.6%。

### 2.1 剩余2P可采储量

全球剩余油气2P可采储量为 $4\ 212.6\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油为 $2\ 055.0\times 10^8\ \text{t}$ ，占48.8%；凝析油为 $197.6\times 10^8\ \text{t}$ ，占4.7%；天然气为 $236.9\times 10^{12}\ \text{m}^3$ ，占46.5%。主要分布于中东（占45.3%），其次为中亚-俄罗斯（占19.7%）和中南美洲地区（占15.1%）。

#### 2.1.1 国家分布

全球剩余油气2P可采储量集中在82个国家（数据不含中国），其中俄罗斯、沙特阿拉伯、伊朗、委内瑞拉分别占全球的14.4%、12.4%、11.8%和11.5%。石油主要集中在沙特阿拉伯和委内瑞拉，分别占全球的21.1%和20.7%；天然气主要集中在俄罗斯和伊朗，分别占全球的23.0%和21.1%（见图2、表1）。

俄罗斯剩余油气2P可采储量为 $572.4\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油占29.8%、凝析油占3.8%、天然气占66.4%。沙特阿拉伯剩余油气2P可采储量为 $495.2\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油占85.3%、凝析油占3.1%、天然气占11.6%。伊朗剩余油气2P可采储量为 $470.0\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油占33.9%、凝析油占9.0%、天然气占57.1%。委内瑞拉剩

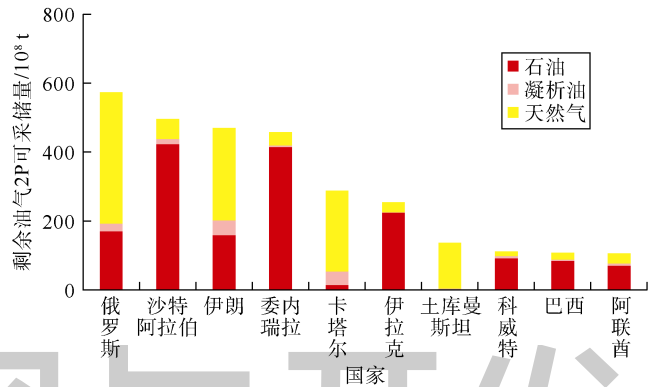


图2 主要国家剩余油气2P可采储量柱状图

表1 主要国家剩余油气2P可采储量统计表

| 国家    | 剩余油气2P可采储量/10 <sup>8</sup> t | 石油占比/% | 凝析油占比/% | 天然气占比/% |
|-------|------------------------------|--------|---------|---------|
| 俄罗斯   | 572.4                        | 29.8   | 3.8     | 66.4    |
| 沙特阿拉伯 | 495.2                        | 85.3   | 3.1     | 11.6    |
| 伊朗    | 470.0                        | 33.9   | 9.0     | 57.1    |
| 委内瑞拉  | 456.8                        | 90.8   | 0.9     | 8.3     |
| 卡塔尔   | 287.3                        | 5.0    | 13.6    | 81.4    |
| 伊拉克   | 253.9                        | 88.4   | 0.5     | 11.1    |
| 土库曼斯坦 | 136.5                        | 2.0    | 1.1     | 96.9    |
| 科威特   | 111.3                        | 83.3   | 5.1     | 11.6    |
| 巴西    | 107.3                        | 78.9   | 3.1     | 18.0    |
| 阿联酋   | 105.6                        | 66.9   | 6.6     | 26.5    |

余油气2P可采储量为 $456.8\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油占90.8%、天然气占8.3%。

#### 2.1.2 盆地分布

全球剩余油气2P可采储量主要富集在38个盆地内（数据不含中国）。阿拉伯盆地、东委内瑞拉盆地和西西伯利亚盆地的剩余油气2P可采储量占全球剩余油气2P可采储量的58.9%（见图3、表2）。

阿拉伯盆地剩余油气2P可采储量为 $1\ 530.9\times 10^8\ \text{t}$ ，其中石油占53.1%、凝析油占6.4%、天然气占40.5%；东委内瑞拉盆地剩余油气2P可采储量为 $412.6\times 10^8\ \text{t}$ ，

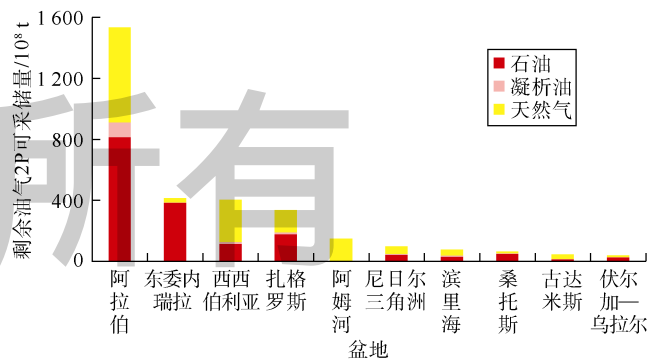


图3 主要盆地剩余油气2P可采储量柱状图

表 2 主要盆地剩余油气 2P 可采储量统计表

| 盆地      | 剩余油气 2P 可采储量/ $10^8$ t | 石油 占比/% | 凝析油 占比/% | 天然气 占比/% |
|---------|------------------------|---------|----------|----------|
| 阿拉伯     | 1 530.9                | 53.1    | 6.4      | 40.5     |
| 东委内瑞拉   | 412.6                  | 92.9    | 0.8      | 6.3      |
| 西西伯利亚   | 403.3                  | 28.1    | 3.1      | 68.8     |
| 扎格罗斯    | 334.9                  | 52.9    | 3.8      | 43.3     |
| 阿姆河     | 148.6                  | 0.7     | 1.7      | 97.6     |
| 尼日尔三角洲  | 96.3                   | 45.9    | 5.9      | 48.2     |
| 滨里海     | 77.0                   | 39.7    | 8.8      | 51.5     |
| 桑托斯     | 64.1                   | 78.6    | 3.1      | 18.3     |
| 古达米斯    | 45.8                   | 29.6    | 5.3      | 65.1     |
| 伏尔加-乌拉尔 | 37.9                   | 72.5    | 2.4      | 25.1     |

石油占 92.9%、凝析油占 0.8%、天然气占 6.3%；西西伯利亚盆地剩余油气 2P 可采储量为  $403.3 \times 10^8$  t，石油占 28.1%、凝析油占 3.1%、天然气占 68.8%。

2.1.3 海陆分布

全球陆地剩余油气 2P 可采储量为  $2 371.6 \times 10^8$  t，其中石油为  $1 136.0 \times 10^8$  t (占 47.9%)、凝析油为  $116.2 \times 10^8$  t (占 4.9%)、天然气为  $132.3 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> (占 47.2%)。全球海域剩余油气 2P 可采储量为  $1 840.9 \times 10^8$  t，其中石油为  $854.2 \times 10^8$  t (占 46.4%)、凝析油为  $97.6 \times 10^8$  t (占 5.3%)、天然气为  $105.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> (占 48.3%)。陆地和海域剩余油气 2P 可采储量占比分别为 56.3%和 43.7% (见图 4)。

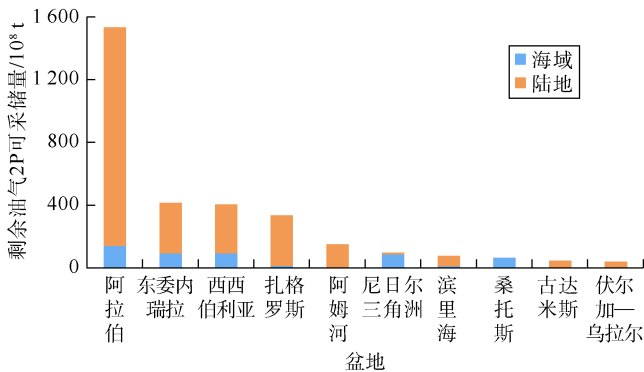


图 4 全球主要盆地剩余油气 2P 可采储量海陆分布柱状图

2.1.4 岩性分布

全球剩余 2P 油气可采储量主要分布在碎屑岩 (占 52.1%) 和碳酸盐岩 (占 47.5%) 储集层中，基岩及其他类型储集层中的剩余 2P 油气可采储量仅占 0.4%。

碎屑岩储集层中的剩余 2P 可采储量为  $2 194.7 \times 10^8$  t，主要分布于东委内瑞拉、西西伯利亚、阿拉伯等 18 个盆地 (见图 5)，其中石油占 52.0%、凝析油占 3.7%、天然气占 44.3%。

碳酸盐岩储集层中的剩余 2P 可采储量为  $2 000.9 \times 10^8$  t，主要分布于阿拉伯、扎格罗斯等 12 个盆地 (见图 5)，其中石油占 50.4%、凝析油占 5.2%、天然气占 44.4%。

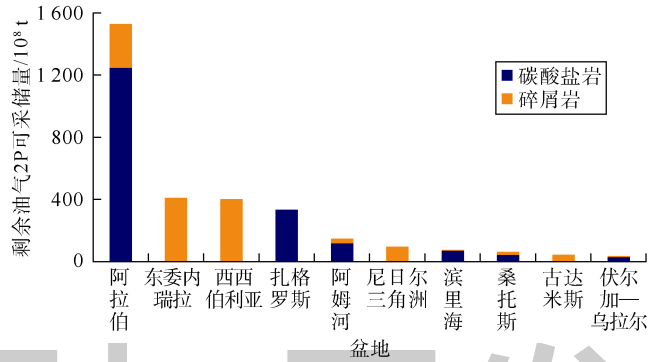


图 5 全球主要盆地剩余油气 2P 可采储量岩性分布柱状图

2.2 已知油气田可采储量增长潜力

未来 30 年，全球已知油气田可采储量增长量为  $1 531.7 \times 10^8$  t，其中石油为  $708.7 \times 10^8$  t (占 46.3%)、凝析油为  $72.8 \times 10^8$  t (占 4.8%)、天然气为  $90.5 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> (占 48.9%)。中东地区储量增长量最大，占全球总量的 33.7%；其次为中亚-俄罗斯和非洲，分别占全球总量的 22.7%和 14.4%；亚太、北美、中亚、中南美等地区增长潜力相当；欧洲地区储量增长潜力最低。

2.2.1 国家分布

俄罗斯已知油气田可采储量增长潜力最大，占全球总量的 16.8%，石油储量增长量为  $106.7 \times 10^8$  t，天然气储量增长量比石油高 5.7%；伊朗和沙特阿拉伯油气可采储量增长潜力相当，各占全球总量的 10.0%和 9.8%；卡塔尔以天然气储量增长为主，占全球总量的 6.2%；美国和委内瑞拉主要为石油储量增长，占比分别为 5.9%和 5.2% (见图 6、表 3)。

俄罗斯已知油气田可采储量增长为  $234.0 \times 10^8$  t，其中石油占 45.6%、凝析油占 3.1%、天然气占 51.3%；伊朗为  $139.7 \times 10^8$  t，石油占 31.3%、凝析油占 8.9%、天然气占 59.8%；沙特阿拉伯为  $136.8 \times 10^8$  t，石油占 75.4%、凝析油占 4.7%、天然气占 19.9%。

2.2.2 盆地分布

全球油气田可采储量增长主要来自阿拉伯、西西

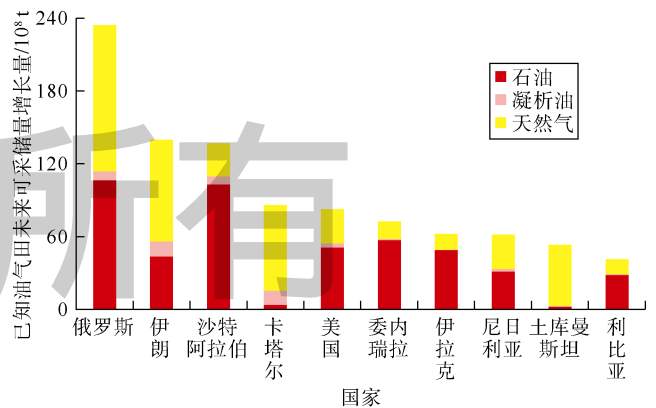


图 6 全球主要国家已知油气田未来可采储量增长量

表3 全球主要国家已知油气田未来可采储量增长量统计表

| 国家    | 已知油气田未来可采储量增长量/ $10^8$ t | 石油占比/% | 凝析油占比/% | 天然气占比/% |
|-------|--------------------------|--------|---------|---------|
| 俄罗斯   | 234.0                    | 45.6   | 3.1     | 51.3    |
| 伊朗    | 139.7                    | 31.3   | 8.9     | 59.8    |
| 沙特阿拉伯 | 136.8                    | 75.4   | 4.7     | 19.9    |
| 卡塔尔   | 86.1                     | 4.5    | 13.4    | 82.1    |
| 美国    | 82.5                     | 62.1   | 4.3     | 33.6    |
| 委内瑞拉  | 72.6                     | 78.6   | 1.4     | 20.0    |
| 伊拉克   | 62.0                     | 78.9   | 0.6     | 20.5    |
| 尼日利亚  | 61.7                     | 50.7   | 3.5     | 45.8    |
| 土库曼   | 53.4                     | 4.6    | 1.3     | 94.1    |
| 利比亚   | 41.6                     | 68.3   | 2.1     | 29.6    |

伯利亚、扎格罗斯、阿姆河、鲁伍马、尼罗河三角洲、墨西哥湾、尼日尔三角洲、歇斯特和下刚果等 29 个盆地的已知油气田。阿拉伯盆地、西西伯利亚盆地和扎格罗斯盆地可采储量增长位居前三,3 个盆地可采储量增长占全球总量的 42.1% (见图 7、表 4)。

阿拉伯盆地已知油气田可采储量增长为  $377.9 \times 10^8$  t,其中石油占 49.9%、凝析油占 7.7%、天然气占 42.4%;西西伯利亚盆地为  $154.6 \times 10^8$  t,其中石油占 48.5%、凝析油占 2.0%、天然气占 49.5%;扎格罗斯盆地为  $111.8 \times 10^8$  t,其中石油占 49.6%、凝析油占 5.4%、天然气占 45.0%。

2.2.3 海陆分布

全球陆地已知油气田可采储量增长为  $909.9 \times 10^8$  t,

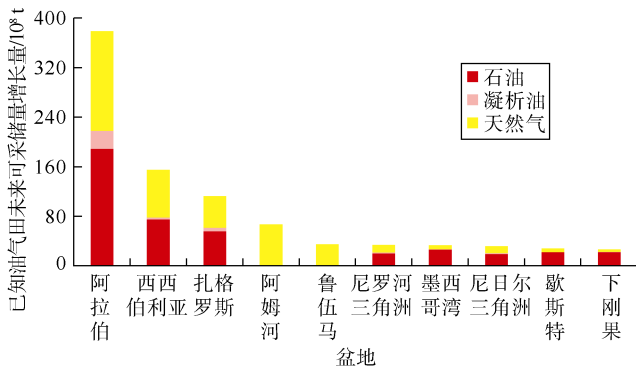


图7 全球主要盆地已知油气田未来可采储量增长量

表4 全球主要盆地已知油气田未来可采储量增长量统计表

| 盆地     | 已知油气田未来可采储量增长量/ $10^8$ t | 石油占比/% | 凝析油占比/% | 天然气占比/% |
|--------|--------------------------|--------|---------|---------|
| 阿拉伯    | 377.9                    | 49.9   | 7.7     | 42.4    |
| 西西伯利亚  | 154.6                    | 48.5   | 2.0     | 49.5    |
| 扎格罗斯   | 111.8                    | 49.6   | 5.4     | 45.0    |
| 阿姆河    | 66.6                     | 0.8    | 1.7     | 97.5    |
| 鲁伍马    | 34.5                     | 0.0    | 1.4     | 98.6    |
| 尼罗河三角洲 | 33.4                     | 60.4   | 4.5     | 35.1    |
| 墨西哥湾   | 33.2                     | 79.0   | 1.4     | 19.6    |
| 尼日尔三角洲 | 31.4                     | 60.3   | 4.5     | 35.2    |
| 歇斯特    | 27.8                     | 79.4   | 0.1     | 20.5    |
| 下刚果    | 26.3                     | 84.7   | 0.6     | 14.7    |

其中石油占 48.8%、凝析油占 4.9%、天然气占 46.3%;海域为  $621.8 \times 10^8$  t,其中石油占 45.8%、凝析油占 5.1%、天然气占 49.1%。陆地和海域可采储量增长分别占总量的 59.4%和 40.6%,陆地仍是可采储量增长的主要来源 (见图 8)。

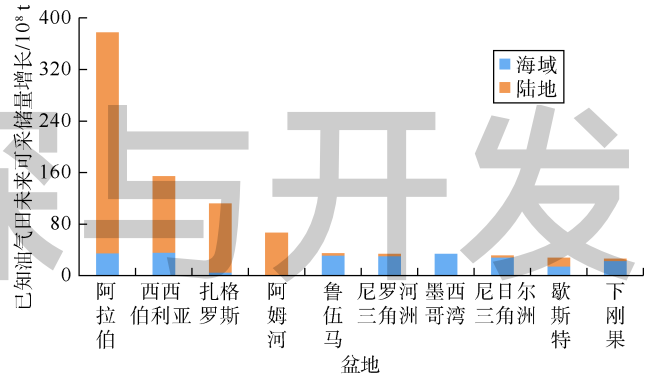


图8 全球主要盆地已知油气田未来可采储量增长量海陆分布柱状图

2.2.4 岩性分布

全球已知油气田储量增长在碳酸盐岩和碎屑岩储集层中分布总体比较均衡,碎屑岩储集层占 53.1%、碳酸盐岩储集层占 46.6%、基岩及其他岩性储集层约占 0.3% (见图 9)。

全球已知碎屑岩储集层储量增长量为  $813.4 \times 10^8$  t,其中石油占 53.1%、凝析油占 4.7%、天然气占 42.2%,主要分布于西西伯利亚、阿拉伯等 13 个盆地中。碳酸盐岩储集层储量增长量为  $713.8 \times 10^8$  t,其中石油占 51.3%、凝析油占 6.1%、天然气占 42.6%,主要分布于阿拉伯、扎格罗斯、阿姆河等 10 个盆地中。

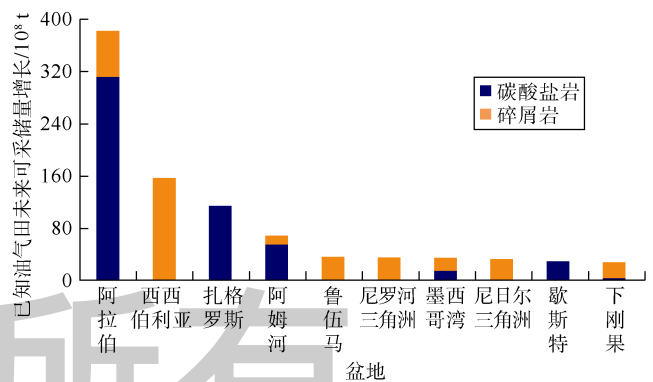


图9 全球主要盆地已知油气田未来可采储量增长量岩性分布柱状图

2.3 待发现可采资源潜力与分布

全球待发现油气可采资源为  $3\ 065.5 \times 10^8$  t,其中石油为  $1\ 302.2 \times 10^8$  t (占 42.5%)、凝析油为  $181.0 \times 10^8$  t

(占 5.9%) 天然气为  $191.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$  (占 51.6%)。主要富集于中亚-俄罗斯地区(占全球总量的 26.6%),其次为中东地区和中南美洲地区(分别占全球总量的 21.7%和 16.4%),亚太和欧洲所占比例较低。

2.3.1 国家分布

俄罗斯待发现可采资源潜力最大,为  $551.0 \times 10^8 \text{ t}$ ,以天然气为主(占 68.7%),石油和凝析油分别占 27.9%和 3.4%;委内瑞拉位居第 2,为  $327.9 \times 10^8 \text{ t}$ ,以石油为主(占 82.2%),凝析油和天然气分别为 1.0%和 16.8%;美国为  $266.6 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中石油占 37.4%、凝析油占 13.4%、天然气占 49.2%(见图 10、表 5)。

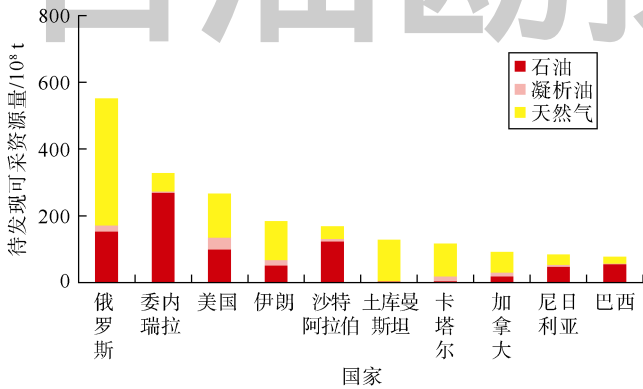


图 10 全球主要国家待发现油气可采资源柱状图

表 5 全球主要国家待发现油气可采资源统计表

| 国家    | 待发现油气可采资源量/ $10^8 \text{ t}$ | 石油占比/% | 凝析油占比/% | 天然气占比/% |
|-------|------------------------------|--------|---------|---------|
| 俄罗斯   | 551.0                        | 27.9   | 3.4     | 68.7    |
| 委内瑞拉  | 327.9                        | 82.2   | 1.0     | 16.8    |
| 美国    | 266.6                        | 37.4   | 13.4    | 49.2    |
| 伊朗    | 184.2                        | 28.4   | 8.5     | 63.1    |
| 沙特阿拉伯 | 169.1                        | 72.8   | 4.7     | 22.5    |
| 土库曼斯坦 | 128.2                        | 2.8    | 1.1     | 96.1    |
| 卡塔尔   | 117.3                        | 3.9    | 12.4    | 83.7    |
| 加拿大   | 91.5                         | 20.7   | 13.0    | 66.3    |
| 尼日利亚  | 84.4                         | 56.7   | 7.2     | 36.1    |
| 巴西    | 78.0                         | 70.9   | 2.8     | 26.3    |

2.3.2 盆地分布

全球待发现油气可采资源主要分布在阿拉伯、扎格罗斯、西西伯利亚、阿姆河、坎波斯、桑托斯、墨西哥湾、东西伯利亚、东巴伦支海和尼日尔三角洲等 71 个盆地中,其中阿拉伯、扎格罗斯、西西伯利亚盆地可采资源潜力位居前三,3 个盆地待发现可采资源量占全球总量的 29.4%(见图 11、表 6)。

阿拉伯盆地待发现油气可采资源为  $368.9 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中石油占 48.1%、凝析油占 7.8%、天然气占 44.1%;扎格罗斯盆地为  $279.8 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中石油占 42.5%、凝析油占 5.8%、天然气占 51.7%;西西伯利亚盆地为  $252.1 \times 10^8 \text{ t}$ ,

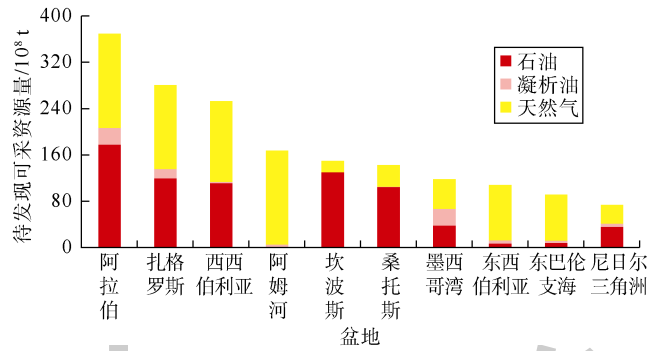


图 11 全球主要盆地待发现油气可采资源柱状图

表 6 全球主要盆地待发现油气资源统计表

| 盆地     | 待发现油气可采资源量/ $10^8 \text{ t}$ | 石油占比/% | 凝析油占比/% | 天然气占比/% |
|--------|------------------------------|--------|---------|---------|
| 阿拉伯    | 368.9                        | 48.1   | 7.8     | 44.1    |
| 扎格罗斯   | 279.8                        | 42.5   | 5.8     | 51.7    |
| 西西伯利亚  | 252.1                        | 43.8   | 1.1     | 55.1    |
| 阿姆河    | 167.2                        | 0.3    | 2.5     | 97.2    |
| 坎波斯    | 149.4                        | 86.5   | 0       | 13.5    |
| 桑托斯    | 141.7                        | 73.2   | 0.8     | 26.0    |
| 墨西哥湾   | 117.7                        | 31.9   | 24.2    | 43.9    |
| 东西伯利亚  | 107.7                        | 5.8    | 5.5     | 88.7    |
| 东巴伦支海  | 90.8                         | 8.3    | 4.6     | 87.1    |
| 尼日尔三角洲 | 73.0                         | 48.5   | 7.2     | 44.3    |

其中石油占 43.8%、凝析油占 1.1%、天然气占 55.1%。

2.3.3 海陆分布

全球陆地待发现油气可采资源量为  $1 771.9 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中石油占 47.8%、凝析油占 5.0%、天然气占 47.2%;海域为  $1 293.6 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中石油占 45.6%、凝析油占 5.1%、天然气占 49.3%。陆地和海域分别占全球总量的 57.8%和 42.2%(见图 12),陆上常规油气资源勘探潜力依然巨大,海域也是未来重要的储量增长点。

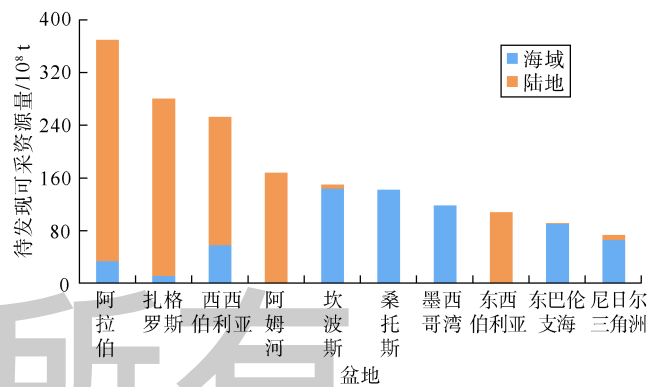


图 12 全球主要盆地待发现油气可采资源海陆分布柱状图

2.3.4 岩性分布

全球待发现油气资源在碎屑岩储集层的分布略大于碳酸盐岩储集层,分别占全球总量的 50.6%和 49.4%。碳酸盐岩储集层待发现油气可采资源量为  $1 514.4 \times 10^8$

t,其中石油占49.2%、凝析油占5.1%、天然气占45.7%。碎屑岩储集层待发现油气可采资源量为 $1\,551.1\times 10^8\text{ t}$ ,其中石油占53.7%、凝析油占5.7%、天然气占40.6%(见图13)。

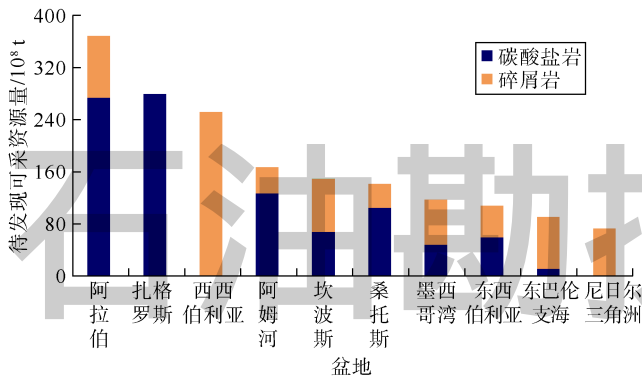


图13 全球主要盆地待发现油气可采资源岩性分布柱状图

### 3 全球非常规油气资源潜力

全球非常规油气资源主要包括已经获得商业开发的重油、油砂、致密油、油页岩油、页岩气、煤层气和致密气7种类型。全球非常规油气可采资源总量为 $5\,833.5\times 10^8\text{ t}$ ,其中非常规石油为 $4\,209.4\times 10^8\text{ t}$ (占72.2%)、非常规天然气为 $195.4\times 10^{12}\text{ m}^3$ (占27.8%)。

全球非常规油气资源主要分布在60个国家的363个盆地中,盆地类型以前陆盆地、克拉通盆地和裂谷盆地为主。北美地区非常规油气资源最为富集,可采资源量达 $1\,970.2\times 10^8\text{ t}$ ,占全球的33.8%;其次为中亚-俄罗斯地区,非常规油气可采资源量达 $1\,262.2\times 10^8\text{ t}$ ,占全球的21.6%。

全球非常规石油中油页岩油的可采资源量最大,达 $1\,979.3\times 10^8\text{ t}$ ,占47.0%;重油次之,可采资源量为 $1\,248.5\times 10^8\text{ t}$ ,占29.7%;油砂可采资源量为 $618.5\times 10^8\text{ t}$ ,占14.7%;致密油可采资源量为 $363.2\times 10^8\text{ t}$ ,占8.6%。

全球非常规天然气中页岩气可采资源量最大,达 $150\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占76.7%;其次为煤层气,可采资源量为 $38.2\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占19.6%;致密气可采资源量为 $7.2\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占3.7%。

#### 3.1 非常规油气可采资源大区分布

##### 3.1.1 非常规石油可采资源大区分布

全球73.4%的非常规石油可采资源富集在北美、中亚-俄罗斯和中南美洲。北美大区可采资源量为 $1\,502.0\times 10^8\text{ t}$ ,占全球的35.7%,以油页岩油、油砂和重油为主;中亚-俄罗斯可采资源总量为 $960.9\times 10^8\text{ t}$ ,

占全球的22.8%,以油页岩油、油砂为主;中南美洲可采资源总量为 $627.2\times 10^8\text{ t}$ ,占全球的14.9%,以重油和油页岩油为主。

油页岩油可采资源主要分布在北美、中亚-俄罗斯和欧洲,重油主要分布在中南美洲、北美和中东,油砂主要分布在北美和中亚-俄罗斯,致密油主要分布在北美、中亚-俄罗斯和中南美洲(见图14、表7)。

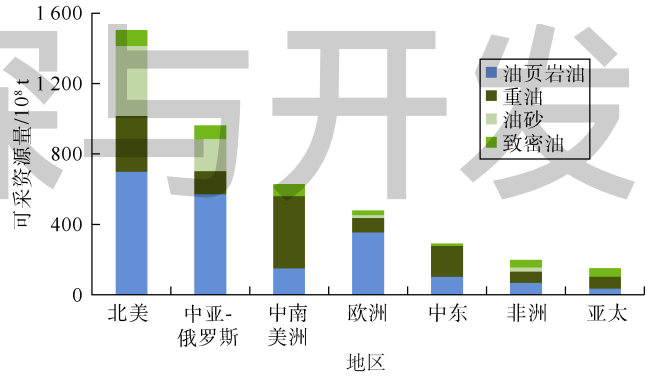


图14 全球非常规石油可采资源量大区分布图

表7 全球非常规石油可采资源量大区分布统计表

| 大区     | 非常规石油可采资源量/ $10^8\text{ t}$ | 油页岩油占比/% | 重油占比/% | 油砂占比/% | 致密油占比/% |
|--------|-----------------------------|----------|--------|--------|---------|
| 北美     | 1 502.0                     | 46.5     | 21.2   | 26.3   | 6.0     |
| 中亚-俄罗斯 | 960.9                       | 59.4     | 13.7   | 18.9   | 8.0     |
| 中南美洲   | 627.2                       | 23.9     | 65.2   | 0      | 10.9    |
| 欧洲     | 479.5                       | 73.8     | 17.2   | 3.7    | 5.3     |
| 中东     | 291.7                       | 35.1     | 60.6   | 0      | 4.3     |
| 非洲     | 198.5                       | 34.3     | 31.9   | 12.3   | 21.5    |
| 亚太     | 149.8                       | 24.0     | 44.9   | 0      | 31.1    |
| 总计     | 4 209.4                     | 47.0     | 29.7   | 14.7   | 8.6     |

##### 3.1.2 非常规天然气可采资源大区分布

全球70.9%的非常规天然气可采资源富集在北美、中亚-俄罗斯、亚太和中东等地区。北美地区的可采资源量为 $56.3\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占28.8%,以页岩气和煤层气为主;中亚-俄罗斯可采资源量为 $36.3\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占18.6%,以页岩气和煤层气为主;亚太地区可采资源量为 $24.5\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占12.5%,以页岩气和煤层气为主;中东地区可采资源量为 $21.4\times 10^{12}\text{ m}^3$ ,占11.0%,以页岩气为主。

全球非常规天然气资源的分布相对比较均衡,除了北美和中亚-俄罗斯2个大区富集了近一半的可采资源外,其他大区可采资源占比都在9.6%以上,其中页岩气在每个大区都有分布,可采资源规模都在 $16.0\times 10^{12}\text{ m}^3$ 以上;煤层气主要富集在北美、中亚-俄罗斯和亚太大区;致密气集中分布在北美大区,其他大区分布较少(见图15、表8)。

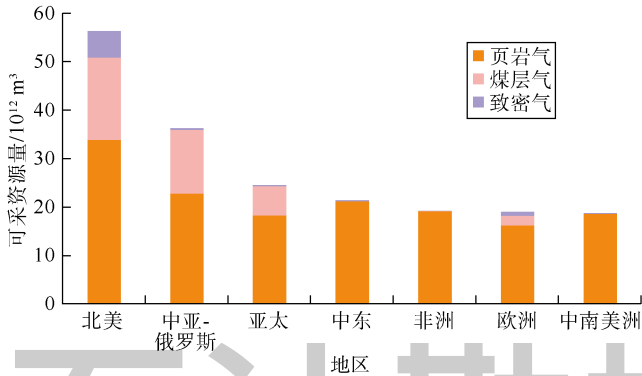


图 15 全球非常规天然气可采资源量大区分布图

表 8 全球非常规天然气可采资源量大区分布统计表

| 大区     | 非常规天然气可采资源量/ $10^{12} m^3$ | 页岩气占比/% | 煤层气占比/% | 致密气占比/% |
|--------|----------------------------|---------|---------|---------|
| 北美     | 56.3                       | 60.1    | 30.2    | 9.7     |
| 中亚-俄罗斯 | 36.3                       | 62.8    | 36.2    | 1.0     |
| 亚太     | 24.5                       | 74.7    | 24.5    | 0.8     |
| 中东     | 21.4                       | 99.0    | 0       | 1.0     |
| 非洲     | 19.2                       | 99.5    | 0.3     | 0.2     |
| 欧洲     | 19.0                       | 85.3    | 10.7    | 4.0     |
| 南中美洲   | 18.8                       | 99.0    | 0.2     | 0.8     |

### 3.2 非常规油气可采资源国家和地区分布

#### 3.2.1 非常规石油可采资源国家和地区分布

全球非常规石油分布在 55 个国家,超过 80%的可采资源量富集在美国、俄罗斯、加拿大、委内瑞拉、沙特阿拉伯、巴西、乌克兰、法国和墨西哥等国家。美国非常规石油可采资源量为  $952.5 \times 10^8 t$ , 占全球总量的 22.6%, 以油页岩油、重油和致密油为主;俄罗斯可采资源量为  $859.2 \times 10^8 t$ , 占全球总量的 20.4%, 以油页岩油、油砂和重油为主;加拿大可采资源量为  $405.4 \times 10^8 t$ , 占全球总量的 9.6%, 以油砂为主;委内瑞拉可采资源量为  $307.3 \times 10^8 t$ , 占全球总量的 7.3%, 以重油为主。

油页岩油主要分布在美国、俄罗斯、乌克兰、巴西和法国,重油主要分布在委内瑞拉、美国、沙特阿拉伯和墨西哥,油砂主要分布在加拿大和俄罗斯,致密油主要分布在俄罗斯、美国和加拿大(见图 16、表 9)。

#### 3.2.2 非常规天然气可采资源国家和地区分布

全球非常规天然气分布在 38 个国家,超过 80%的可采资源量富集在美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、伊朗、沙特阿拉伯等 12 个国家。美国可采资源量为  $39.5 \times 10^{12} m^3$ , 占全球的 20.2%, 页岩气、煤层气和致密气均较富集,以页岩气为主;俄罗斯可采资源量为  $28.5 \times 10^{12} m^3$ , 占全球的 14.6%, 以页岩气和煤层气为主;加拿大可采资源量为  $16.2 \times 10^{12} m^3$ , 占全球的 8.3%, 以煤层气和页岩气为主;澳大利亚可采资源量为  $14.5 \times 10^{12} m^3$ , 占全球的 7.4%, 以页岩气和煤层气为主。

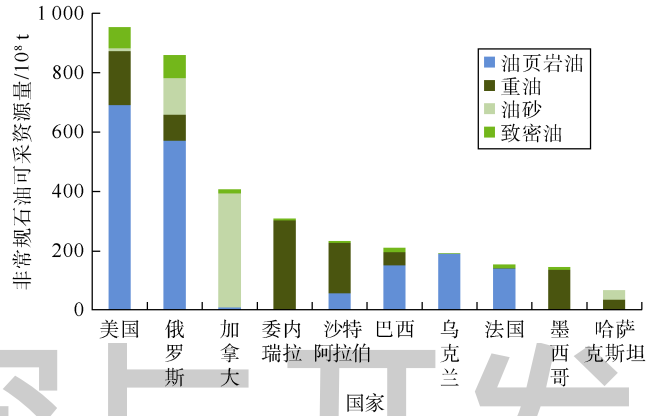


图 16 全球非常规石油可采资源主要国家分布图

表 9 全球非常规石油可采资源主要国家分布统计表

| 国家    | 非常规石油可采资源量/ $10^8 t$ | 油页岩油占比/% | 重油占比/% | 油砂占比/% | 致密油占比/% |
|-------|----------------------|----------|--------|--------|---------|
| 美国    | 952.5                | 72.5     | 19.1   | 1.1    | 7.3     |
| 俄罗斯   | 859.2                | 66.4     | 10.3   | 14.4   | 8.9     |
| 加拿大   | 405.4                | 2.0      | 0      | 94.9   | 3.1     |
| 委内瑞拉  | 307.3                | 0        | 98.4   | 0      | 1.6     |
| 沙特阿拉伯 | 230.7                | 24.2     | 73.7   | 0      | 2.1     |
| 巴西    | 208.1                | 72.1     | 21.5   | 0      | 6.4     |
| 乌克兰   | 190.0                | 99.4     | 0      | 0      | 0.6     |
| 法国    | 151.4                | 92.2     | 0.2    | 0.1    | 7.5     |
| 墨西哥   | 144.1                | 92.2     | 0.2    | 0.1    | 7.5     |
| 哈萨克斯坦 | 66.3                 | 92.2     | 0.2    | 0.1    | 7.5     |

全球非常规天然气资源以页岩气和煤层气为主。页岩气主要分布在美国、俄罗斯、澳大利亚、伊朗等国家,煤层气主要分布在俄罗斯、加拿大、美国和澳大利亚,致密气主要分布在美国和加拿大(见图 17、表 10)。

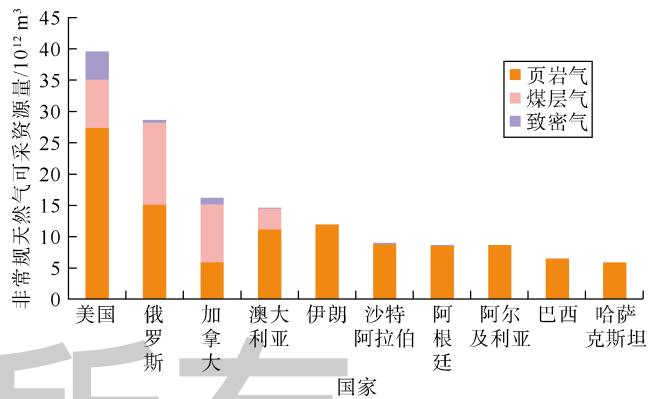


图 17 全球非常规天然气可采资源主要国家分布图

### 3.3 非常规油气可采资源盆地分布

#### 3.3.1 非常规石油可采资源盆地分布

全球非常规石油主要分布在 134 个盆地中,81.5%的可采资源分布在阿尔伯塔、西西伯利亚、伏尔加-乌拉尔、皮申思和东委内瑞拉等 26 个盆地。阿尔伯塔盆



表 10 全球非常规天然气可采资源主要国家分布统计表

| 国家    | 非常规天然气可采资源量/ $10^{12} \text{ m}^3$ | 页岩气占比/% | 煤层气占比/% | 致密气占比/% |
|-------|------------------------------------|---------|---------|---------|
| 美国    | 39.5                               | 69.2    | 19.6    | 11.3    |
| 俄罗斯   | 28.5                               | 52.8    | 46.0    | 1.2     |
| 加拿大   | 16.2                               | 36.3    | 57.5    | 6.2     |
| 澳大利亚  | 14.5                               | 76.3    | 23.0    | 0.7     |
| 伊朗    | 11.9                               | 100.0   | 0       | 0       |
| 沙特阿拉伯 | 9.0                                | 97.6    | 0       | 2.4     |
| 阿根廷   | 8.6                                | 99.1    | 0       | 0.9     |
| 阿尔及利亚 | 8.6                                | 100.0   | 0       | 0       |
| 巴西    | 6.5                                | 99.7    | 0.3     | 0       |
| 哈萨克斯坦 | 5.8                                | 100.0   | 0       | 0       |

地可采资源量为  $405.0 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球的 9.6%，以油砂和致密油为主；西西伯利亚盆地可采资源量为  $311.9 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球的 7.4%，以油页岩油和致密油为主；伏尔加-乌拉尔盆地可采资源量为  $304.6 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球的 7.2%，以油页岩油和油砂为主；皮申思盆地可采资源量为  $300.6 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球的 7.1%，以油页岩油为主；东委内瑞拉盆地可采资源量为  $262.0 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全球的 6.2%，以重油为主。

全球油页岩油可采资源主要分布在皮申思、伏尔加-乌拉尔、尤因塔和西西伯利亚等盆地，重油可采资源主要分布在东委内瑞拉、阿拉伯和西西伯利亚等盆地，油砂可采资源主要分布在阿尔伯塔、东西伯利亚和伏尔加-乌拉尔等盆地，致密油主要分布在西西伯利亚、阿尔伯塔、巴黎等盆地（见图 18、表 11）。

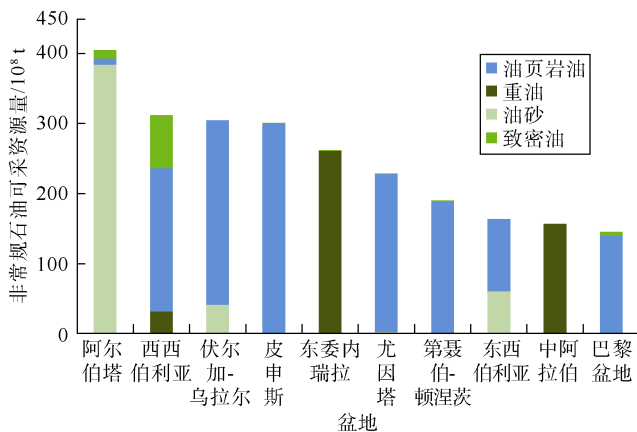


图 18 全球非常规石油可采资源主要盆地分布图

### 3.3.2 非常规天然气可采资源盆地分布

全球非常规天然气可采资源分布在 106 个盆地内，80% 的可采资源分布在阿尔伯塔、扎格罗斯、阿巴拉契亚、东西伯利亚、美国湾岸等 26 个盆地内。阿尔伯塔盆地可采资源量为  $16.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球的 8.3%，以煤层气、页岩气和致密气为主；扎格罗斯盆地可采资源量为  $11.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球的 6.1%，以页岩气为主；

表 11 全球非常规石油可采资源主要盆地分布统计表

| 盆地      | 非常规石油可采资源量/ $10^8 \text{ t}$ | 油页岩油占比/% | 重油占比/% | 油砂占比/% | 致密油占比/% |
|---------|------------------------------|----------|--------|--------|---------|
| 阿尔伯塔    | 405.0                        | 2.0      | 0      | 94.9   | 3.1     |
| 西西伯利亚   | 311.9                        | 65.6     | 10.2   | 0      | 24.2    |
| 伏尔加-乌拉尔 | 304.6                        | 86.4     | 0      | 13.6   | 0       |
| 皮申思     | 300.6                        | 99.9     | 0      | 0      | 0.1     |
| 东委内瑞拉   | 262.0                        | 0        | 99.5   | 0      | 0.5     |
| 尤因塔     | 228.3                        | 98.9     | 0      | 1.1    | 0       |
| 第聂伯-顿涅茨 | 190.0                        | 99.4     | 0      | 0      | 0.6     |
| 东西伯利亚   | 163.4                        | 62.8     | 0      | 37.2   | 0       |
| 阿拉伯     | 156.8                        | 0        | 100.0  | 0      | 0       |
| 巴黎盆地    | 145.3                        | 96.1     | 0      | 0      | 3.9     |

阿巴拉契亚盆地可采资源量为  $11.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球的 5.9%，以页岩气和致密气为主；东西伯利亚盆地可采资源量为  $10.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球的 5.3%，以页岩气和煤层气为主；美国湾岸盆地可采资源量为  $9.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全球的 5.0%，以页岩气为主。

全球页岩气主要分布在扎格罗斯、美国湾岸、阿巴拉契亚、古达米斯等盆地，煤层气主要分布在阿尔伯塔、东西伯利亚和库兹涅茨克等盆地，致密气主要分布在阿尔伯塔和阿巴拉契亚等盆地（见图 19、表 12）。

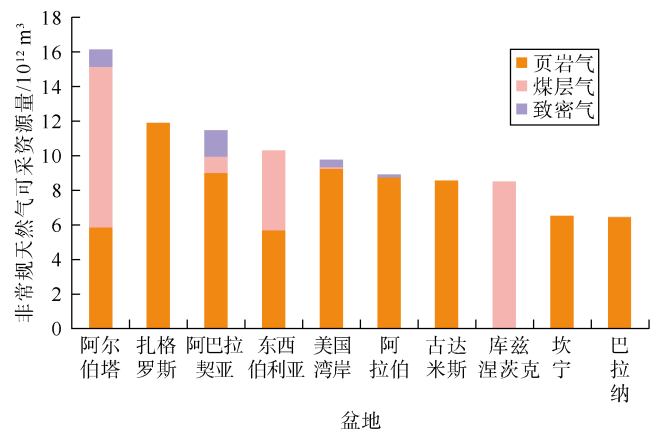


图 19 全球非常规天然气可采资源主要盆地分布图

表 12 全球非常规天然气可采资源主要盆地分布统计表

| 盆地    | 非常规天然气可采资源量/ $10^{12} \text{ m}^3$ | 页岩气占比/% | 煤层气占比/% | 致密气占比/% |
|-------|------------------------------------|---------|---------|---------|
| 阿尔伯塔  | 16.2                               | 36.3    | 57.5    | 6.2     |
| 扎格罗斯  | 11.9                               | 100.0   | 0       | 0       |
| 阿巴拉契亚 | 11.5                               | 78.5    | 8.1     | 13.4    |
| 东西伯利亚 | 10.3                               | 55.2    | 44.8    | 0       |
| 美国湾岸  | 9.8                                | 94.5    | 1.1     | 4.4     |
| 阿拉伯   | 8.9                                | 98.0    | 0       | 2.0     |
| 古达米斯  | 8.6                                | 100.0   | 0       | 0       |
| 库兹涅茨克 | 8.5                                | 0       | 100.0   | 0       |
| 坎宁    | 6.5                                | 100.0   | 0       | 0       |
| 巴拉纳   | 6.5                                | 99.7    | 0.3     | 0       |

## 4 结论

采用以成藏组合为单元的常规、非常规油气资源

评价方法体系,系统完成了中国以外 425 个盆地 678 个成藏组合的常规油气资源评价、363 个盆地 476 套层系的非常规油气资源评价,非常规油气包括致密油、重油、油砂、油页岩油、页岩气、致密气、煤层气 7 种类型。首次获得了中国具有自主知识产权的评价数据,为中国油公司“走出去”和国家制定能源战略提供了重要的决策依据。

全球常规石油可采资源量为  $5\,350.0 \times 10^8$  t、凝析油可采资源量为  $496.2 \times 10^8$  t、天然气可采资源量为  $588.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>; 油气累计产量为  $1\,918.2 \times 10^8$  t, 采出程度为 17.9%; 剩余油气 2P 可采储量为  $4\,212.6 \times 10^8$  t, 占总量的 39.2%, 主要分布在俄罗斯、沙特阿拉伯、伊朗、委内瑞拉等国家; 已知油气田可采储量增长量为  $1\,531.7 \times 10^8$  t, 占总量的 14.3%, 主要分布于中东、中亚-俄罗斯以及非洲等地区; 待发现油气可采资源量为  $3\,065.5 \times 10^8$  t, 占总量的 28.6%, 主要分布于俄罗斯、委内瑞拉和美国等国家。

全球非常规油气可采资源总量为  $5\,833.5 \times 10^8$  t, 其中非常规石油可采资源量为  $4\,209.4 \times 10^8$  t, 占总量的 72.2%, 主要分布于美国、俄罗斯、加拿大、委内瑞拉等国家; 非常规天然气可采资源量为  $195.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 占总量的 27.8%, 主要分布于美国、俄罗斯、加拿大和澳大利亚等国家。由于技术的进步,非常规油气资源已经成为常规油气资源的有效补充,特别是致密油气资源具有较好的经济性,正在引领着油气产业的一次革命。

从世界角度看,常规油气资源仍然丰富,非常规油气资源开发利用刚刚起步,合理有效利用国外油气资源是中国经济发展的必由之路,中国石油公司应积极“走出去”分享油气资源,保障国家能源安全。

#### 参考文献:

- [1] 中国石油经济技术研究院. 2017 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2017.  
CNPC Economics & Technology Research Institute. Oil and gas industry development report at home and abroad in 2017[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.
- [2] BP. BP energy outlook: 2017 edition[EB/OL]. (2017-12-20)[2018-02-10]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/energy-overview-the-base-case.html>.
- [3] AHLBRANDT T S, CHARPENTIER R R, KLETT T R, et al. Global resource estimates from total petroleum systems[M]. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 2005.
- [4] KLETT T R, GAUTIER D L, AHLBRANDT T S, et al. An evaluation of the U.S. Geological Survey world petroleum assessment 2000[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(8): 1033-1042.
- [5] IEA. World energy outlook 2017[EB/OL]. (2017-09-20)[2018-02-12]. <http://www.iea.org/weo2017/>.
- [6] BP. Statistical review of world energy[EB/OL]. (2017-09-20) [2018-02-10]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [7] IHS Markit. IHS energy: EDIN[EB/OL]. (2011-01-01)[2017-12-31]. <https://ihsmarkit.com/index.html>.
- [8] IHS MARKIT. IHS energy: Vantage[EB/OL]. (2011-01-01)[2017-12-31]. <https://ihsmarkit.com/index.html>.
- [9] 童晓光, 张光亚, 王兆明, 等. 全球油气资源潜力与分布[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 1-9.  
TONG Xiaoguang, ZHANG Guangya, WANG Zhaoming, et al. Global oil and gas potential and distribution[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(3): 1-9.
- [10] 童晓光, 何登发. 油气勘探原理和方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.  
TONG Xiaoguang, HE Dengfa. Principle and method of oil and gas exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [11] 童晓光, 李浩武, 肖坤叶, 等. 成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 317-323.  
TONG Xiaoguang, LI Haowu, XIAO Kunye, et al. Evaluation method for increase of reserves in large oil-gas fields based on reserves growth model & probability analysis and its application in Middle East[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 317-323.
- [12] 吴义平, 田作基, 童晓光, 等. 基于储量增长模型和概率分析的大油气田储量增长评价方法及其在中东地区的应用[J]. 石油学报, 2014, 35(3): 469-479.  
WU Yiping, TIAN Zuoji, TONG Xiaoguang, et al. Evaluation method for increase of reserves in large oil-gas fields based on reserves growth model & probability analysis and its application in Middle East[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(3): 469-479.
- [13] 余功铭, 徐建山, 童晓光, 等. 全球已知油气田储量增长研究[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 195-200.  
YU Gongming, XU Jianshan, TONG Xiaoguang, et al. Study on the reserve growth of known oil and gas fields in the world[J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21(3): 195-200.
- [14] 边海光, 田作基, 吴义平, 等. 中东地区已发现大油田储量增长特征及潜力[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(2): 244-247.  
BIAN Haiguang, TIAN Zuoji, WU Yiping, et al. Reserve growth characteristics and potential of the discovered giant oil fields in the Middle East[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 244-247.
- [15] KLETT T R. United States Geological Survey's reserve: Growth models and their implementation[J]. Natural Resources Research, 2005, 14(3): 249-264.
- [16] 王红军, 马锋, 童晓光, 等. 全球非常规油气资源评价[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(6): 850-862.  
WANG Hongjun, MA Feng, TONG Xiaoguang, et al. Assessment of global unconventional oil and gas resources[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(6): 850-862.

第一作者简介: 童晓光(1935-), 男, 浙江嵊州人, 硕士, 中国工程院院士, 主要从事全球油气地质与勘探研究。地址: 北京市海淀区学院路 20 号, 中国石油勘探开发研究院, 邮政编码: 100083。E-mail: tongxg@cnpcint.com

联系作者简介: 王兆明(1975-), 男, 山东胶南人, 博士, 中国石油勘探开发研究院高级工程师, 主要从事海外油气地质、资产评估与超前选区研究。地址: 北京市海淀区学院路 20 号, 中国石油勘探开发研究院全球油气资源与勘探规划研究所, 邮政编码: 100083。E-mail: wangzhaoming@petrochina.com.cn

收稿日期: 2018-03-02 修回日期: 2018-03-29

(编辑 王晖)