

https://doi.org/10.3799/dqkx.2019.957



我国主要含油气盆地油气资源潜力 及未来重点勘探领域

郑民, 李建忠, 吴晓智, 王社教, 郭秋麟, 陈晓明, 于京都

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 油气资源是油气工业的基础,随着油气勘探工作的不断深入,油气勘探形势发生了明显变化,亟需评价落实国内常规与非常规油气资源潜力,明确剩余油气资源的重点勘探领域与有利勘探方向,夯实油气资源家底.中国石油天然气集团公司以近十几年来油气勘探成果、地质认识成果与资料积累成果为基础,攻关形成常规与非常规油气资源评价方法技术体系,系统开展了第四次油气资源评价,评价结果显示我国常规石油地质资源量 $1\ 080.31 \times 10^8$ t,技术可采资源量 272.50×10^8 t;常规天然气地质资源量 78×10^{12} m³,技术可采资源量 48.45×10^{12} m³.我国非常规油气资源非常丰富,非常规石油地质资源量 672.08×10^8 t,技术可采资源量 151.81×10^8 t;非常规天然气地质资源量 284.95×10^{12} m³,技术可采资源量 89.3×10^{12} m³.其中,致密油地质资源量 125.80×10^8 t,油砂油地质资源量 12.55×10^8 t,油页岩油地质资源量 533.73×10^8 t;致密砂岩气地质资源量 21.86×10^{12} m³,页岩气地质资源量 80.21×10^{12} m³,煤层气地质资源量 29.82×10^{12} m³,天然气水合物 153.06×10^{12} m³.我国陆上常规剩余油气资源主要分布在岩性—地层(碎屑岩)、复杂构造(碎屑岩)、海相碳酸盐岩、前陆冲断带四大重点领域.其中,陆上剩余石油资源主要分布在岩性—地层(碎屑岩)、复杂构造(碎屑岩)两大领域,陆上剩余天然气资源主要分布在海相碳酸盐岩、前陆冲断带两大领域.海域油气资源主要分布在构造、生物礁、深水岩性3个领域.

关键词: 油气资源评价;油气资源潜力;剩余油气资源潜力;油气资源分布;重点勘探领域;石油地质.

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2019)03-0833-15

收稿日期: 2019-01-24

Potential of Oil and Natural Gas Resources of Main Hydrocarbon-Bearing Basins and Key Exploration Fields in China

Zheng Min, Li Jianzhong, Wu Xiaozhi, Wang Shejiao, Guo Qiulin, Chen Xiaoming, Yu Jingdu

PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China

Abstract: Resources are the foundation of oil and gas industry. With the continuous development of exploration and the obviously changed situation, it is urgent to evaluate the potential of domestic conventional and unconventional oil and gas resources, as well as the favorable directions of the remaining resources, in order to consolidate the foundation of the cognition for oil and gas resources. In this paper, the system of methodology and technology in resource assessment for conventional and unconventional resources is researched and developed based on the achievements in oil and gas exploration, geological recognitions and accumulation of research data, which leads to the systematical initiation of 4th resources assessment. According to the results, there is $1\ 080.31 \times 10^8$ t of conventional oil with 272.50×10^8 t of recoverable resources. There is 78×10^{12} m³ of conventional gas with 48.45×10^{12} m³ of recoverable resources. There are also abundant unconventional resources in China. There is 672.08×10^8 t of unconventional oil in which recoverable resources make up 151.81×10^8 t. There is 284.95×10^{12} m³ for unconventional gas in

基金项目: 国家重点研发计划(No.2017YFC0603106); 国家重大科技专项(No.2017ZX05008-006); 中国石油天然气集团公司重大科技专项(No.2013E-0502).

作者简介: 郑民(1979—),男,高级工程师,博士,主要从事油气资源战略及石油地质综合研究. ORCID: 0000-0003-3947-322X.
E-mail: zhenmin@petrochina.com.cn

引用格式: 郑民, 李建忠, 吴晓智, 等. 2019. 我国主要含油气盆地油气资源潜力及未来重点勘探领域. 地球科学, 44(3): 833-847.

which recoverable resources account for $89.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$. Among these types of unconventional resources, the geological amount of tight oil is $125.80 \times 10^8 \text{ t}$, the geological amount of oil sands is $12.55 \times 10^8 \text{ t}$, the geological amount of oil shale is $533.73 \times 10^8 \text{ t}$, the geological amount of tight gas is $21.86 \times 10^{12} \text{ m}^3$, the geological amount of shale gas is $80.21 \times 10^{12} \text{ m}^3$, the geological amount of coalbed methane is $29.82 \times 10^{12} \text{ m}^3$, the geological amount of natural gas hydrate is $153.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$. The remaining resources of conventional oil and gas are mainly distributed in 4 domains, which are clastic rocks in domain of lithology formation, clastic rocks of complex structures, carbonates of marine facies and belts of foreland thrust. The onshore part of remaining oil is mainly distributed in the former 2 domains. The onshore part of remaining gas is mainly distributed in the latter 2 domains. The offshore resources are mainly in 3 domains which are structures, bio-reefs and lithologic traps of deep water.

Key words: resources assessment; resources potential; remaining resources potential; resources distribution; key zone for exploration; petroleum geology.

0 引言

油气资源评价是在油气成藏理论及油气分布规律认识指导下,选用合适的资源评价方法与技术,定量估算油气资源量,明确油气资源潜力、富集规律与重点勘探领域的研究过程(李建忠等,2016;郑民等,2018)。美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯、挪威、中国等是世界上较早进行油气资源评价的国家,每年或每隔几年就对本国或世界的油气资源进行评价,以便清楚地掌握本国或全球油气资源的潜力和分布状况。近 20 年来,国外常规油气资源评价方法主要体现在统计模型的改进,以及注重地质分析的综合评价方法上;非常规油气资源评价是相对较新的一个领域,国外主要采用生产井 EUR 的类比或统计法计算可采资源量,同时也采用成因法、体积法和随机模拟法等方法。就我国来看,从 20 世纪 30、40 年代直至目前,不同机构、部门和专家学者都在持续研究油气资源问题,其中全国性的油气资源评价研究也已开展了 3 次,历次全国油气资源评价的思路和做法既一脉相承,又各具时代特色。2003 年,中国石油组织完成了第三次油气资源评价,获得了新的资源量评价结果与油气资源分布富集规律新认识,明确提出了岩性地层、前陆、叠合盆地中下组合和成熟探区四大重点勘探领域(贾承造等,2008;郑民等,2010),有效指导了 2003 年之后 10 余年的油气勘探工作,推动油气探明储量形成新的增长高峰。

近年来,随着油气勘探工作的不断深入,油气勘探形势发生了明显变化,对油气资源评价工作提出 3 方面需求:(1)风险勘探和油气预探突破了一批新层系、新领域,尤其是海相碳酸盐岩、前陆深层、斜坡区岩性地层以及火山岩、基岩等领域获重大发现,亟需评价落实其资源潜力;(2)成熟探区油气勘探持续发展,探明储量稳定增长,但新增储量品位明显下

降,需要加强剩余资源潜力评价及富集区分布研究;(3)非常规油气取得重要进展,致密气、页岩气、煤层气以及部分探区致密油实现工业化开发,需要系统开展资源潜力评价,明确资源总量和发展潜力。2017 年中国石油消费增速回升,全年原油表观消费量 $6.10 \times 10^8 \text{ t}$,同比增长 6.0%,增速较 2016 年扩大 0.5 个百分点,以日均消费 100 亿桶排名全球第二。而国内原油产量受低油价影响连续两年下降,2017 年全年石油产量 $1.915 \times 10^8 \text{ t}$,同比下降 3.1%(刘朝全和姜学峰,2018),中国原油对外依存度超过 68%,加上进口石油和液化石油气等折算,对外依存度高达 72.3%^①,亟需国内油气勘探获得更大突破与长足发展。中国石油天然气集团公司为明确我国油气资源潜力,于 2013 年设立了“中国石油第四次油气资源评价”重大科技专项(李建忠等,2016),第四次油气资源评价工作在充分吸收历次全国油气资源评价研究成果的基础上,确定了新形势下开展油气资源评价的基本思路:既要加强常规剩余油气资源及其分布评价,又要系统评价非常规油气资源潜力及可利用性,同时更要依据常规与非常规油气资源具有密切成因联系、有序分布等特点,探索发展常规与非常规一体化资源评价技术,整体把握我国常规与非常规油气资源潜力。本文立足于中国石油第四次油气资源评价成果,详细说明我国油气资源潜力、剩余油气资源分布,以及未来重点勘探领域和有利方向,以期为油气勘探开发规划部署提供借鉴。

1 我国油气资源勘探与开发现状

1.1 我国油气勘探开发现状

新中国成立以来,我国石油工业经历了 20 世纪

^① http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2019-01/30/content_1733239.htm; 2019-01-30.

50年代的恢复与探索、60~70年代的高速发展、80年代的稳定增长和90年代以来的平缓增长四大发展阶段。1959年大庆油田的发现,从根本上改变了我国石油工业的面貌,1965年结束了对进口石油的依赖,实现了自给;20世纪60~70年代,胜利、辽河、长庆、华北等油气田的相继发现和开发使全国原油产量迅速增长,1978年产量突破 1.0×10^8 t大关,我国从此进入了世界产油大国的行列,2010年全国石油年产量突破 2.0×10^8 t,达到 2.03×10^8 t,成为全球第四大石油生产国(图1);2017年石油年产量 1.915×10^8 t,相比2016年减少3.8%,世界排名第七。与此同时,我国天然气工业自2000年以来也进入大发展阶段,伴随靖边、苏里格、大牛地、乌审旗、克拉2、迪那2、普光、广安、徐深等一批大中型天然气田的发现,天然气年产量以两位数的速度快速增长,2011年突破千亿立方米大关,2017年产量达到 1492×10^8 m³,为全球第六大天然气生产国(图1)。

1.2 我国油气储产量状况

我国是世界上沉积历史最长、形成的沉积层系最多的沉积区之一,也是构造演化历史最为复杂的地区之一。我国沉积盆地的地质特征,决定了我国油气储量增长具有多高峰和多阶段的特点,储量稳定增长的历史会相当长。经过60余年的油气勘探工作,我国已经发现了一批大中型油气田,截至2017年底,全国已探明油气田1009个(其中油田734个,天然气田275个),页岩气田4个,煤层气田26个^②。我国年新增石油探明储量在2007~2015年期间连续8年保持在 10×10^8 t以上,2017年全国石油勘查新增探明地质储量 8.77×10^8 t,同比下降4.1%;新增探明技术可采储量 1.51×10^8 t,同比下降6.6%。新增探明地质储量大于 1×10^8 t的大油田2个,为鄂尔多斯盆地的华庆油田和姬塬油田。2017

年全国年新增天然气探明储量继续在 5000×10^8 m³以上,形成了维持时间最长的高基值储量增长高峰期。全国天然气勘查新增探明地质储量 5553.79×10^8 m³,同比下降23.6%;新增探明技术可采储量 2484.93×10^8 m³,同比下降30.8%。2017年全国页岩气勘查新增探明地质储量 3767.60×10^8 m³(2016年没有新增储量),新增探明技术可采储量 848.35×10^8 m³。新增探明地质储量超过千亿立方米的页岩气田2个,为四川盆地的涪陵页岩气田和威远页岩气田。2017年全国煤层气勘查新增探明地质储量 104.80×10^8 m³,同比下降81.8%;新增探明技术可采储量 52.41×10^8 m³,同比下降81.8%。截止2017年底,全国石油累计探明地质储量 389.65×10^8 t,累计探明技术可采储量 103.09×10^8 t,已累计采出石油 67.67×10^8 t,剩余技术可采储量 35.42×10^8 t。全国天然气累积探明地质储量 142194.28×10^8 m³,累计探明技术可采储量 74591.15×10^8 m³,已累计采出天然气 19370.19×10^8 m³,剩余技术可采储量 55220.96×10^8 m³。全国页岩气累积探明地质储量 9208.89×10^8 m³,累计探明技术可采储量 2208.68×10^8 m³,已累计采出页岩气 225.80×10^8 m³,剩余技术可采储量 1982.88×10^8 m³。全国煤层气累积探明地质储量 6344.96×10^8 m³,累计探明技术可采储量 3192.92×10^8 m³,已累计采出煤层气 167.56×10^8 m³,剩余技术可采储量 3025.36×10^8 m³^②。

2 油气资源评价与资源潜力分析

2.1 油气资源评价工作概况

为满足油气勘探新形势下的生产需要,全面系统评价我国常规与非常规油气资源潜力,该项评价研究工作以中国石油油气勘查矿权区涉及盆地为主要研究对象,涵盖常规油气与7类非常规油气资源,其中常规油气评价了72个盆地(凹陷或地区),非常规油气评价了62个盆地(凹陷或地区),常规与非常规合并评价了105个盆地(凹陷或地区)。在72个常规资源评价盆地基础上,本文沿用或借鉴国土资源部动态评价(2013)与新一轮资源评价(2005)中油气勘探进展变化不大的29个盆地/地区,汇总完成包含101个盆地/拗陷/地区的全国常规油气资源评价结果,评价层系上包含了自太古界Ar至新生界Cz第四系Q共14套层系。

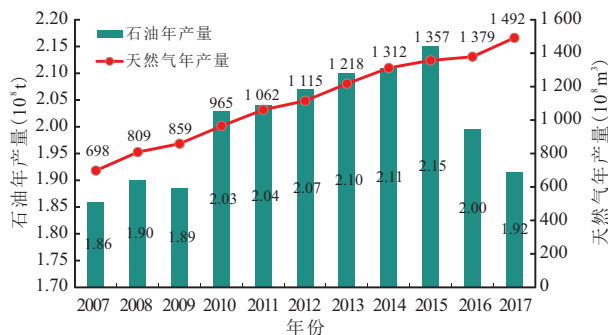


图1 2007~2017年中国石油与天然气年产量变化

Fig.1 Crude oil and natural gas productivity in 2007—2017 of China

②自然资源部,2018. 2017年全国油气矿产储量通报(报告)。

本次评价分盆地(坳陷、凹陷)、区带两大评价层次,采用成因法、统计法、类比法等评价方法进行综合评价,以特尔菲法综合求取各级资源量结果.项目攻关建立形成 12 种常规与 7 种非常规油气资源评价方法体系和关键评价技术(郭秋麟等,2011,2014,2015).精细解剖 218 个刻度区,建立 12 项资源评价关键参数取值标准,构建常规、非常规油气资源类比评价参数体系.系统开展生烃潜力整体评价,开展 60 余个盆地/地区/坳陷 109 个工区的盆地模拟研究,评估各探区生烃总量.在资源量计算方面,常规油气资源开展多方法综合评价,保证评价结果客观可靠;非常规资源开展分级评价,建立资源分级标准,重点评价 I、II 类资源总量和分布,落实现实可利用资源.

2.2 常规与非常规油气资源评价思路

2.2.1 常规油气资源评价思路

以地质评价为基础,以资源评价为重点,以资源空间展布为目标,强调 4 大关键环节:(1)盆地油气基础地质研究与地质评价;(2)分类型典型刻度区精细解剖与关键类比参数求取;(3)盆地资源潜力评价与资源量的区带和层系分配关系;(4)基于资源评价结果和区带地质评价的勘探方向与目标评价.建立多方法综合评价技术开展常规油气资源评价,通过成因法计算盆地或含油气系统油气资源总量的范围,采用类比法、统计法进行油气资源潜力精细评价,最终采用特尔菲综合法确定盆地或独立含油气系统油气资源潜力(图 2).

2.2.2 非常规油气资源评价思路

为突出非常规油气资源的现实性与可采性,本次评价在立足于非常规油气地质评价基础上,运用适当的方法技术,着重开展了分级评价研究和可采性评价研究(李建忠等,2015;王社教等,2016).小面元容积法采用定源、定储层、定评价区、资源计算“四步法”;分级资源丰度类比法与 EUR 类比法采用确定类比参数、确定评价区、资源量计算“三步法”(图略).

2.3 评价实例

2.3.1 塔里木盆地常规石油与天然气资源评价

塔里木盆地是一个由古生代克拉通盆地与中生代前陆盆地组成的大型复合、叠合盆地(谢会文等,2017),盆地地层齐全,厚度巨大,从震旦系到第四系均有分布,最大残留厚度达 18 000 m,岩性由碳酸盐岩、碳酸盐岩与碎屑岩互层、再到碎屑岩组成,主要发育碎屑岩和碳酸盐岩两大类储层,碳酸盐岩分布于下古生界寒武—奥陶系,碎屑岩分布于上古生界—第三系,目前在两大类储层中都发现了工业性油气流.塔里木盆地油气资源以常规油气为主.常规石油主要分布在塔中隆起志留系和石炭系、塔北隆起中西部奥陶系及其以上的含油层系、北部坳陷中西部、西南坳陷的麦盖提斜坡和塘古孜巴斯凹陷.常规天然气主要分布在库车坳陷中东部、西南坳陷天山山前构造带、北部坳陷东部、塔东隆起和东南坳陷.在盆地级资源量评价中,首先通过解剖典型刻度区并获取资源丰度、运聚系数、可采系数等关键参数

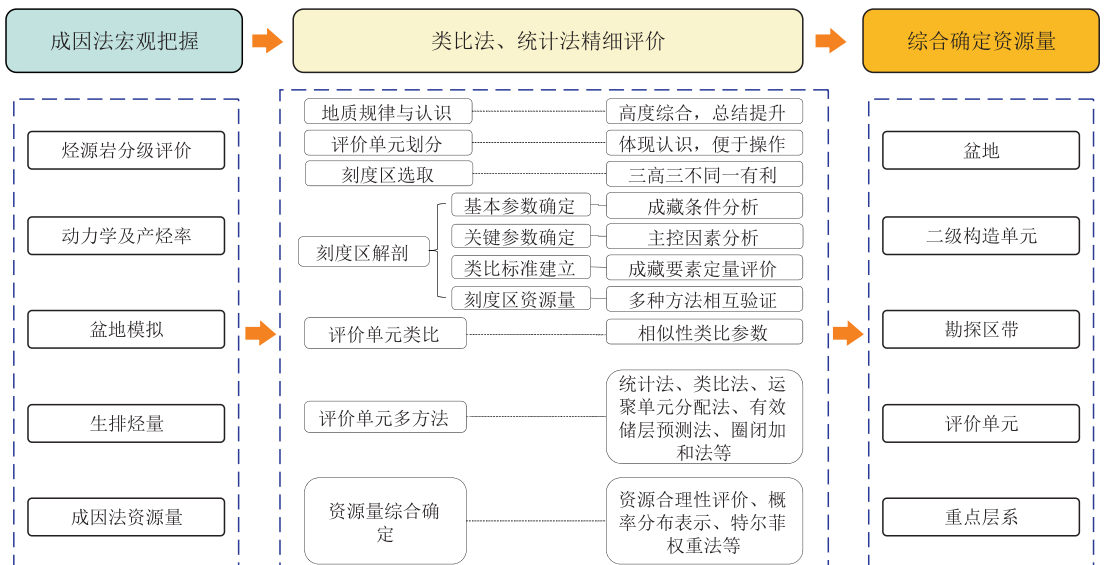


图 2 常规油气资源多方法综合评价思路

Fig.2 The idea of comprehensive assessment for conventional resource by multiple methods

取值标准,在此基础上通过三大类方法进行评价.其中,成因法主要是通过盆地模拟算出盆地的生烃量,再通过刻度区解剖获取的运聚系数转化求得盆地资源量;统计法采用规模序列法计算石油与天然气资源;类比法主要采用区带类比法和层系类比法,通过刻度区获取的资源丰度值转化求取评价单元的资源丰度,从而实现石油与天然气评价的目的.

(1)刻度区与关键参数取值.根据塔里木盆地地质特征与油气成藏特点,建立 2 大类、3 亚类、6 小类常规油气刻度区分类方案(表 1).通过刻度区解剖建立评价参数体系,获得地质条件定量描述参数、资源量计算参数,如资源丰度、运聚系数等关键参数,为塔里木盆地常规油气资源类比评价提供参考依据.

塔里木盆地石油运聚系数平均为 1.27%,碳酸盐岩运聚系数高于碎屑岩,碳酸盐岩在 0.86%~4.24%之间,而碎屑岩在 0.16%~0.6%之间.天然气运聚系数平均为 0.94%,碳酸盐岩在 0.46%~0.79%之间,碎屑岩跨度较大,在 0.01%~3.42%之间.

塔里木盆地石油资源丰度平均为 15.99×10^4 t/km²,碳酸盐岩石油资源丰度较高,在 $15 \times 10^4 \sim 45 \times 10^4$ t/km² 之间,平均为 25.31×10^4 t/km²;碎屑岩石油资源丰度在 $0.46 \times 10^4 \sim 17.63 \times 10^4$ t/km² 之间,平均为 6.67×10^4 t/km².天然气资源丰度相对比较均衡,整体在 $0.01 \times 10^8 \sim 4.90 \times 10^8$ m³/km² 之间,平均为 1.44×10^8 m³/km².

(2)成因法油气资源量计算.笔者对塔里木盆地 18 个评价层系、11 个烃源层进行评价,划分 11 个模拟分区,将寒武—奥陶系烃源岩、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系分别划分为 10 个、10 个、7 个、7 个、9 个运聚单元.在确定盆地模拟关键参数之后,开展地史模拟、热史模拟、成岩史模拟、生烃史与排烃史模

拟、油气运移聚集史模拟,评价塔里木盆地烃源岩总生油量为 5135.98×10^8 t,总生气量为 984.66×10^{12} m³.各运聚单元根据地质条件优选相似刻度区的运聚系数,根据运聚单元的运聚系数和生油气量求得各运聚单元资源量,汇总后得到成因法盆地常规资源量,塔里木盆地石油资源量在 $25.68 \times 10^8 \sim 154.05 \times 10^8$ t 之间,期望值为 97.55×10^8 t;天然气资源量在 $4.92 \times 10^{12} \sim 19.77 \times 10^{12}$ m³ 之间,期望值为 17.69×10^{12} m³.

(3)统计法油气资源量计算.盆地级资源量统计法评价主要优选油气藏规模序列法,通过对盆地内 9 个层系已发现油气藏的探明、控制、预测三级储量进行归类处理,并以此作为统计样本开展油气藏规模序列法评价,计算全盆地石油资源量为 68.40×10^8 t,天然气资源量为 8.44×10^{12} m³.

(4)类比法油气资源量计算.塔里木盆地油气资源评价工作,划分出 107 个三级区带,并根据储层和油气类型细分为 211 个层区带.按照前陆区和台盆区分别开展评价参数体系与取值标准建立、地质风险评价、相似系数计算和资源量计算四个方面的工作,根据评价层系地质特点优选相似刻度区分别进行类比评价,并最终汇总形成全盆地资源量.区带类比和层系类比是两种不同参照系的类比评价方法,区带类比法评价得出石油地质资源量为 73.50×10^8 t,天然气地质资源量为 11.85×10^{12} m³;层系类比法评价得出石油地质资源量为 74.35×10^8 t,天然气资源量为 11.80×10^{12} m³.

(5)盆地常规石油与天然气综合资源量.盆地模拟法在计算时范围涵盖盆地所有地区,且在运聚系数范围内给出油气资源量的范围值.盆地模拟计算中运聚系数的求取结合刻度区研究,相对准确;但在低勘探程度地区由于基础资料限制,计算结果也具

表 1 塔里木盆地油气资源评价刻度区库分类统计

Table 1 Classification statistics for oil and gas resources evaluation scale area in Tarim Basin

大类	亚类	类型	刻度区名称	个数
构造型	压陷盆地	前陆冲断带构造型	克拉苏冲断带(E、K)、东秋—迪那构造带(E、N)、柯克亚构造带(N、E)	3
	构造型	前陆前缘隆起构造型	牙哈构造带(E、N、K)、却勒 1—羊塔构造带(E、K)	2
	克拉通盆地构造型	克拉通内部隆起型	群库恰克构造带(C)、玛扎塔格构造带(C、O)、塔中 10 号构造带(C、S)	3
岩性型	克拉	古隆起	轮南低凸起刻度区(O)、轮古东区带(O)、轮古西区带(O)、新垦—哈 6 区块(O)、塔中北斜坡碳酸盐岩(O)、中古 8—43 井区(O _{1y})	6
		台缘	塔中 26—82 井区(O _{3l})、塔中 45—86 井区(O _{3l})	2
	通型	台内	台内—海侵滩坝组合	哈得逊构造带(C)
合计				17

表 2 我国海相页岩气资源分类评价标准

Table 2 Standard of classification evaluation for shale gas of marine faices

参数	I 类	II 类	III 类	
富有机质页岩厚度(m)	>50	30~50	<30	
地化 指标	TOC(%)	>3	2~3	
	R _o (%)	1.1~3	3~4	
	有机质类型	I - II ₁	II ₂	III
储层 指标	脆性矿物含量(%)	>50	35~50	<35
	孔隙类型	基质孔隙和裂缝	基质孔隙为主,少量裂缝	基质孔隙
	孔隙度(%)	>4	2~4	<2
	裂缝孔隙度(%)	>0.5	0.1~0.5	<0.1
	含气量(m ³ /t)	>3	1.5~3	<1.5
压力系数	>1.4	1.2~1.4	<1.2	

注:据董大忠等(2011)。

表 3 上扬子地区龙马溪组与筇竹寺组页岩气分级评价结果

Table 3 Results of classification evaluation for shale gas in Longmanxi Formation and Qiongzhusi Formation in Upper Yangtze region

层位	序号	区块名称	面积(km ²)	有效厚度(m)	埋深(m)	可采资源量(10 ⁸ m ³)	评价级别
五峰组— 龙马溪组	1	长宁	4 493	40~80	2 000~4 500	3 931.38	I
	2	威远	2 790	20~60	2 600~4 500	2232	I
	3	富顺—永川	6 660	80~100	3 000~4 500	14 985	I
	4	涪陵	2 340	60~90	2 200~4 500	2 866.5	I
	5	内江—大足	3 790	40~80	2 000~3 500	3 790	I
	6	璧山—江津	3 680	40~80	2 600~4 500	5 520	I
		I 类小计	23 753	20~80	2 000~4 500	33 324.88	I
	7	石柱—利川	2 360	60~100	2 200~4 500	2 312.8	II
	8	巫山	1 660	20~60	4 000~4 500	996	II
	9	叙永	300	20~40	2 000~3 000	126	II
	10	江安—水富—屏山	3 340	60~100	2 000~3 500	5 010	II
	11	犍为	1 910	10~50	3 500~5 000	534.8	II
	12	南川—綦江—习水	1 470	20~30	1 200~4 500	411.6	II
	13	江津东线状区块	790	20~40	4 000~4 500	414.75	II
		II 类小计	11 830	10~100	1 200~4 500	9 805.95	II
	14	綦江北线状区块	400	20~30	4 000~4 500	175	III
15	江北—邻水	810	20~30	3 500~4 350	226.8	III	
16	长寿—垫江	980	20~30	3 800~4 500	343	III	
	III 类小计	2 190	20~30	3 500~4 500	744.8	III	
筇竹寺组	17	威远	6 244	20~140	2 600~4 500	5 559.66	II
		II 类小计	6 244	20~140	2 600~4 500	5 559.66	II
	18	长宁	3 525	70~100	2 000~4 500	1 307.78	III
	19	古蔺	1 330	80~100	1 500~2 500	634.41	III
	III 类小计	4 855	70~100	1 500~4 500	1 942.19	III	
合计		48 872	10~140	1 200~4 500	51 377.47	I - III	

有推测性,风险性较大.地质类比法是通过与盆地自身勘探程度较高的刻度区进行类比,评价结果较为接近实际.虽然区带划分和层系勘探领域的主观判断均受勘探程度影响,但总体应能反映盆地内资源

分布状况和目前的认识,其资源量应该为盆地总资源量的主体部分.统计法在勘探程度较高的地区较为准确,因塔里木盆地总体处于勘探程度中早期,且部分地区因油气藏发现过少无法使用,使得计算结

表 4 全国常规石油与天然气资源评价结果

Table 4 Assessment results of domestic conventional oil and gas resources

资源类型—常规油气		石油(10 ⁸ t)					天然气(10 ⁸ m ³)			
地域	主要含油气盆地	地质资源量			可采资源量		地质资源量		可采资源量	
	盆地名称	面积 (km ²)	探明 地质储量	总地质 资源量	探明技术 可采储量	总技术 可采资源量	探明 地质储量	总地质 资源量	探明技术 可采储量	总技术 可采资源量
陆上	松辽盆地	260 000	75.70	111.37	29.98	36.76	4 349.94	26 734.89	2 039.15	12 214.67
	渤海湾(陆上)	133 200	109.30	214.94	28.63	54.54	2 670.56	23 097.11	1 434.40	11 757.93
	鄂尔多斯	250 000	53.87	116.50	9.55	21.78	6 877.52	23 636.27	4 348.72	13 959.95
	塔里木	560 000	21.29	75.06	3.66	19.12	16 921.19	117 398.96	10 572.79	66 236.12
	准噶尔	134 000	26.08	80.08	6.39	17.35	2 017.49	23 071.31	1 219.95	10 072.04
	四川	200 000	0.00	0.00	0.00	0.00	21 557.35	124 655.82	14 298.33	73 859.57
	柴达木	104 000	6.23	29.59	1.31	5.54	3 612.30	32 126.99	1 967.86	15 899.93
	吐哈	53 500	4.11	10.09	1.03	2.26	482.52	2 434.57	320.89	1 311.74
	二连	109 000	3.30	13.39	0.61	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00
	南襄	17 000	3.06	5.15	0.98	1.53	11.07	400.00	2.78	100.00
	苏北	35 000	3.54	6.22	0.80	1.40	29.78	600.00	19.94	330.00
	江汉	28 000	1.62	5.15	0.49	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00
	海拉尔	79 600	2.28	10.10	0.45	2.01	0.00	841.79	0.00	336.72
	酒泉	13 100	1.70	5.11	0.47	1.09	0.00	416.09	0.00	287.10
	三塘湖	23 000	0.88	4.48	0.12	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00
	百色	830	0.17	0.42	0.04	0.10	7.00	60.00	1.69	14.50
	其他	1 153 287	1.23	104.54	0.22	21.89	477.88	34 572.35	223.49	17 715.64
	小计	3 153 517	314.36	792.16	84.71	190.16	59 014.60	410 046.15	36 449.99	224 095.91
	海域	渤海湾(海域)	61 800	33.14	110.29	7.55	25.37	679.50	12 977.00	418.04
东海		250 000	0.27	7.23	0.09	1.48	3 154.87	36 361.00	1 812.42	24 753.00
黄海		169 000	0.00	7.22	0.00	1.57	0.00	1 847.00	0.00	1 071.00
南海		1 116 752	59.71	163.41	19.89	53.93	82 683.43	323 191.00	58 366.28	228 439.03
小计		1 597 552	93.12	288.15	27.52	82.35	86 517.80	374 376.00	60 596.74	260 362.03
合计	4 751 069	407.48	1 080.31	112.24	272.50	145 532.40	784 422.15	97 046.73	484 457.94	

注:探明地质储量统计截止到 2015 年底.

表 5 七类非常规油气资源评价结果

Table 5 Assessment results of seven types of unconventional oil and natural gas

资源类型	石油(10 ⁸ t)			天然气(10 ⁸ m ³)	
盆地名称	面积(km ²)	地质资源量	技术可采资源量	地质资源量	技术可采资源量
致密油	188 541.00	125.80	12.34		
致密砂岩气	324 544.00			218 643.60	109 386.10
页岩气	425 281.87			802 085.82	128 501.12
煤层气	385 060.55			298 211.05	125 142.38
油 砂	1 492.32	12.55	7.67		
油页岩油	552 478.67	533.73	131.80		
天然气水合物	1 912 269.00			1 530 560.00	530 000.00
合计	3 789 667.41	672.08	151.81	2 849 500.47	893 029.60

注:致密油与致密砂岩气评价范围不包括济阳、东濮、南襄、苏北等.

果偏小,根据 3 种方法的特点以及塔里木盆地油气勘探开发现状,采用特尔菲综合法对不同方法得到的盆地资源量赋予不同的权重,其中成因法权重 0.1、层系类比法权重 0.2、区带类比法 0.5、统计法取权重 0.2,最终汇总得到塔里木盆地常规石油地质资源量为 75.06×10^8 t,天然气地质资源量为 11.74×10^{12} m³。根据可采系数与盆地层系和构造单元的资源量,计算得到塔里木盆地常规石油可采资源量为 19.12×10^8 t,天然气可采资源量为 6.62×10^{12} m³。

2.3.2 上扬子海相页岩气资源评价 在页岩气地质评价标准基础上,综合考虑富有机质页岩厚度、地化指标、储层指标、压力系数等,建立页岩气资源三级分类评价标准(表 2)。其中,Ⅰ类标准为:厚度 >50 m, TOC $>3\%$, $R_o = 1.1\% \sim 3\%$, $\Phi >4\%$, 超压,埋深 <3500 m。

依据分级评价标准,郭旭升(2017)对上扬子海相页岩气区开展了详细的基础地质研究,分别建立寒武系筇竹寺组、志留系龙马溪组地质分类评价,获取资源评价参数体系,本文在此基础上开展上扬子地区海相页岩气资源分级评价(表 3)。四川盆地海相页岩气可采资源为 5.1×10^{12} m³,其中Ⅰ类为 3.3×10^{12} m³、Ⅱ类为 1.5×10^{12} m³,五峰—龙马溪组合计可采资源为 4.4×10^{12} m³。

2.4 常规与非常规油气资源评价结果

2.4.1 全国常规油气资源评价结果 中国石油第四次油气资源评价工作依据评价技术规范体系(吴晓智等,2016),完成全国主要含油气盆地 109 个工区盆地模拟研究,准确把握盆地或独立含油气系统油气资源总量的范围,同时采用类比法、统计法开展盆地或评价单元石油与天然气资源潜力精细评价,

采用特尔菲综合法实现全盆地石油与天然气资源潜力评价结果的汇总。汇总结果显示,全国常规石油地质资源量 1080.31×10^8 t,常规天然气地质资源量 78×10^{12} m³(表 4)。

2.4.2 非常规油气资源评价结果 在非常规石油与天然气资源评价过程中,由于每一种非常规油气资源具有相对独特的资源发育与富集特征,在资源评价的适应性方法上存在一定的差异。总体而言,对非常规石油与天然气的分级评价和可采性评价是一致的,分别按照 7 类非常规油气资源评价技术规范(吴晓智等,2016)完成评价(表 5)。

3 常规油气资源分布特征

3.1 全国常规油气资源分布特征

全国常规石油地质资源量 1080.31×10^8 t,其中陆上资源 792.16×10^8 t,占比 73%;海域资源 288.15×10^8 t,占比 27%(图 3)。陆上石油资源以非青藏区为主,非青藏区含油气盆地资源量占 92%;海域石油资源中,南海 163.41×10^8 t,占比 57%。天然气地质资源量 78.44×10^{12} m³,其中陆上资源 41×10^{12} m³,占比 52%;海域资源 37.44×10^{12} m³,占比 48%。陆上天然气资源以非青藏区为主,占比 96%;海域天然气资源中,南海 32.32×10^{12} m³,占比 84%。

我国油气地质资源被划分为东北、华北、西北、华南、青藏以及海域,总共 6 大油气区。陆上常规石油地质资源量主要分布在华北、西北和东北油气区,其中东北区石油地质资源量 149.55×10^8 t,占陆上石油资源的 18.88%;华北区石油地质资源量

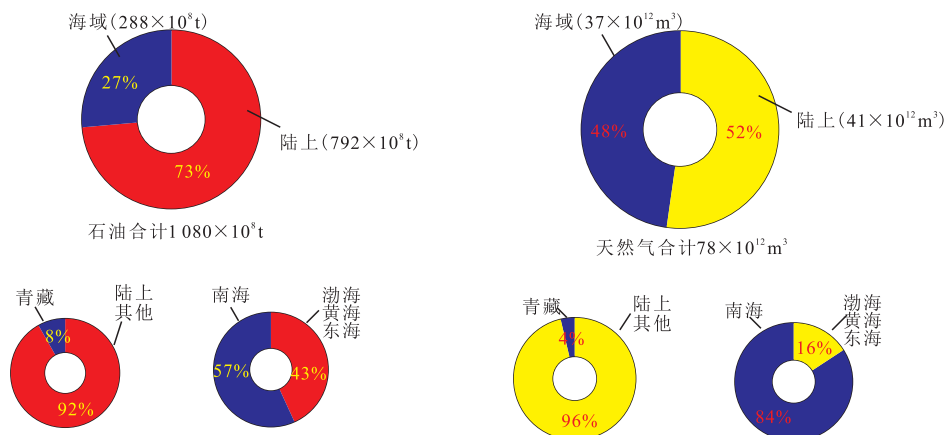


图 3 全国油气地质资源海陆分布状态

Fig.3 Distribution state about geological resources of domestic oil and natural gas onshore and offshore

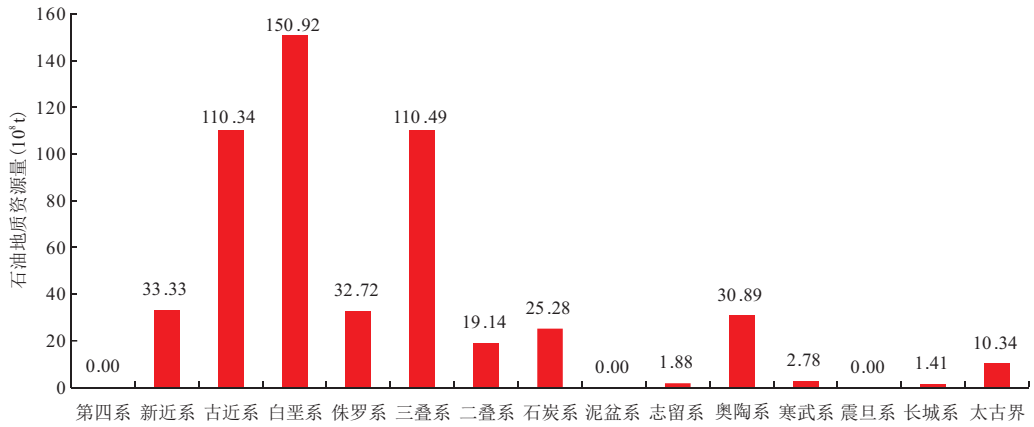


图4 中石油矿权区(陆上+海域)分层系石油资源分布状况

Fig.4 Distribution condition about the amount of geological resources of oil in different formations in the mining areas of PetroChina

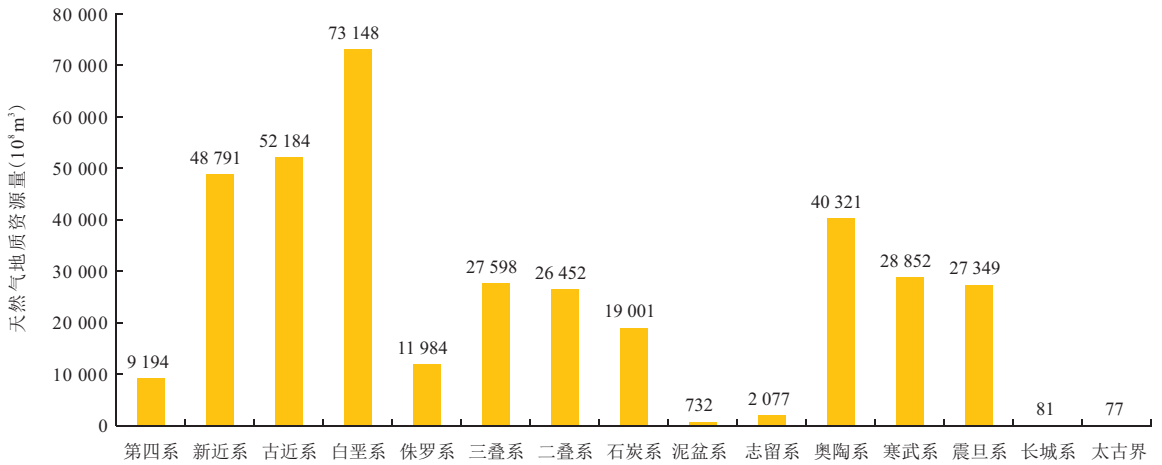


图5 中石油矿权区(陆上+海域)分层系天然气资源分布状况

Fig.5 Distribution condition about the amount of geological resources of natural gas in different formations in the mining areas of PetroChina

351.08×10⁸ t, 占比 44.32%;西北区石油地质资源量 214.57×10⁸ t, 占比 27.09%;华南区石油地质资源量 12.00×10⁸ t, 占比 1.52%;青藏区石油地质资源量 64.96×10⁸ t, 占比 8.20%。陆上天然气资源主要分布在西北和华南油气区,其中东北区地质资源量 3.41×10¹² m³, 占陆上地质资源量的 8.32%;华北区地质资源量 5.23×10¹² m³, 占比 12.75%;西北区地质资源量 17.71×10¹² m³, 占比 43.19%;华南区地质资源量 13.17×10¹² m³, 占比 32.12%;青藏区地质资源量 1.48×10¹² m³, 占比 3.62%。

3.2 中国石油矿权区常规油气资源分布特征

中国石油矿权区陆上常规石油地质资源量 515.03×10⁸ t, 占全国陆上石油地质资源的 65%;海域常规石油地质资源量 14.49×10⁸ t, 占全国海域资

源的 5%。中国石油矿权区陆上常规天然气地质资源量 32.38×10¹² m³, 占全国陆上天然气地质资源的 79%;海域常规天然气地质资源量 4.41×10¹² m³, 占全国海域资源的 11.8%。

从层系分布来看,中国石油矿权区陆上常规石油资源集中分布于中、新生界,地质资源量合计 423.31×10⁸ t, 约占总地质资源量的 82%(图4);常规天然气资源分布层系相对均衡(图5)。海域石油资源集中分布在白垩系、古近系和新近系,主体集中在古近系和新近系,其中古近系 6.60×10⁸ t, 占 46%;新近系 7.48×10⁸ t, 占 52%。海域天然气资源同样集中在这3个层系,其中新近系占主体,天然气地质资源量 25 036.99×10⁸ m³, 占 80%;古近系天然气地质资源量 8 322.66×10⁸ m³, 占 19%。

根据《石油天然气储量计算规范(DZ T0217-2005)》,油气资源深度分级标准为:中浅层($<2\ 000\text{ m}$)、中深层($2\ 000\sim 3\ 500\text{ m}$)、深层($3\ 500\sim 4\ 500\text{ m}$)和超深层($>4\ 500\text{ m}$)。中国石油矿权区陆上常规石油资源主要分布在中浅层、中深层,占比 74.8%。其中,中浅层石油地质资源量 $200\times 10^8\text{ t}$ 、中深层石油地质资源量 $185\times 10^8\text{ t}$ 。深层、超深层石油地质资源量合计 $129.69\times 10^8\text{ t}$,占 25.18%。常规天然气资源主要分布在深层、超深层,占 73.3%。其中,超深层地质资源量 $13.01\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 40.2%;深层天然气地质资源量 $10.71\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 33.1%;中深层天然气地质资源量 $6.19\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 19.1%;浅层天然气地质资源量 $2.46\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 7.6%。海域常规石油资源主要分布在中浅层、中深层,中浅层石油地质资源量 $9.38\times 10^8\text{ t}$,占比 64.73%;中深层石油地质资源量 $3.46\times 10^8\text{ t}$,占比 23.89%。海域常规天然气资源仍然主要分布在中浅层和中深层,两者合计占比 87.85%。其中,中浅层地质资源量 $2.48\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 56.36%;中深层天然气地质资源量 $1.39\times 10^{12}\text{ m}^3$,约占 31.49%。

4 非常规油气资源分布状况

4.1 致密油资源潜力及分布

我国致密油资源在各地地区广泛分布,其中中东部地区资源更为丰富。致密油主要分布在鄂尔多斯、松辽、渤海湾、准噶尔四大盆地,其中鄂尔多斯盆地致密油地质资源量 $30\times 10^8\text{ t}$,松辽盆地 $22.4\times 10^8\text{ t}$,渤海湾盆地 $20\times 10^8\text{ t}$,准噶尔盆地 $19.79\times 10^8\text{ t}$,合计 $92.19\times 10^8\text{ t}$,占总资源量的 73.3%。截至目前,已探明致密油地质储量 $6.28\times 10^8\text{ t}$,剩余地质资源量 $119.52\times 10^8\text{ t}$ 。已探明地质储量集中在松辽、鄂尔多斯、渤海湾盆地,其中松辽盆地探明致密油地质资源量 $2.588\times 10^8\text{ t}$,剩余地质资源量 $19.82\times 10^8\text{ t}$;鄂尔多斯盆地探明致密油地质资源量 $1.006\times 10^8\text{ t}$,剩余地质资源量 $28.99\times 10^8\text{ t}$ 。致密油剩余资源主要集中在鄂尔多斯、松辽、准噶尔和渤海湾 4 个盆地,是今后致密油勘探的重点盆地。

4.2 致密气资源潜力及分布

致密气资源主要分布在鄂尔多斯、四川、松辽和塔里木盆地,其中鄂尔多斯盆地致密气地质资源量 $13.32\times 10^{12}\text{ m}^3$,四川盆地 $3.98\times 10^{12}\text{ m}^3$,松辽盆地 $2.25\times 10^{12}\text{ m}^3$,塔里木盆地 $1.23\times 10^{12}\text{ m}^3$,合计

$20.8\times 10^{12}\text{ m}^3$,占总资源的 95%。已探明地质储量集中在鄂尔多斯和四川盆地,其中鄂尔多斯盆地上古生界探明致密气地质资源量 $6.02\times 10^{12}\text{ m}^3$,剩余地质资源量 $7.3\times 10^{12}\text{ m}^3$;四川盆地探明致密气地质资源量 $1.28\times 10^{12}\text{ m}^3$,剩余地质资源量 $2.7\times 10^{12}\text{ m}^3$ 。致密气剩余资源主要集中在鄂尔多斯、四川、松辽和塔里木四大盆地,是今后致密气勘探的重点盆地。

4.3 煤层气资源潜力及分布

全国煤层气资源主要集中在东部的沁水、二连、海拉尔,中部的鄂尔多斯盆地、西部的准噶尔、塔里木、吐哈—三塘湖盆地。煤层气地质资源量以东部最多,占 33%,中部和西部各占 26%,南方最少,占 15%;可采资源量也以东部、西部最高,各约占 30%,中部占 24%,南方最少,占 15%。层系上,全国煤层气地质资源中生界和古生界各约占 50%,新生界地质资源量极少。煤阶上,高煤阶、低煤阶略高于中煤阶地质资源量,但由于渗透率值差异,低煤阶可采资源量明显高于高煤阶和中煤阶。埋深上,风化带—1 000 m 最大,占 37%;1 500~2 000 m 次之,占 33%;1 000~1 500 m 最少,占 30%。可采资源量风化带—1 000 m 最大,占 35%;1 000~1 500 m 次之,占 33%;1 500~2 000 m 最少,占 32%。高煤阶、低煤阶资源量以 1 000 m 以浅为主,中煤阶以 1 000~2 000 m 埋深为主。

4.4 页岩气资源分布特征

我国页岩气技术可采资源总量为 $12.85\times 10^{12}\text{ m}^3$,以海相页岩气为主。海相页岩气技术可采资源总量为 $8.82\times 10^{12}\text{ m}^3$,占页岩气总可采资源量的 68.7%。海陆过渡相页岩气技术可采资源总量为 $2.42\times 10^{12}\text{ m}^3$,占页岩气总可采资源量的 18.82%。陆相页岩气技术可采资源总量为 $1.61\times 10^{12}\text{ m}^3$,占页岩气总可采资源量的 12.5%。

海相页岩气落实有利叠合面积为 $14.8\times 10^4\text{ km}^2$,厚度为 20~260 m,可采资源总量为 $8.82\times 10^{12}\text{ m}^3$,主要分布在三大领域:(1)四川盆地,技术可采资源总量为 $5.14\times 10^{12}\text{ m}^3$,占海相页岩气总资源量的 58.3%。(2)四川盆地周边,包括滇东—黔北、渝东—湘鄂西,技术可采资源总量为 $2.75\times 10^{12}\text{ m}^3$,占海相页岩气总资源量的 31.2%。(3)中—下扬子地区,技术可采资源总量为 $0.93\times 10^{12}\text{ m}^3$,占海相页岩气总资源量的 10.0%。由此可见,四川盆地及其周边是海相页岩气资源的主体,技术可采资源总量为 $7.89\times 10^{12}\text{ m}^3$,占海相页岩气总资源量的 89.5%。

4.5 油页岩资源分布特征

本次评价我国油页岩固体矿产总资源(埋深0~1 000 m)为 $9\,734 \times 10^8$ t,查明资源储量为 $1\,122 \times 10^8$ t,潜在资源量 $8\,612 \times 10^8$ t.油页岩油总资源为 534×10^8 t,查明资源储量为 57×10^8 t,潜在资源量 477×10^8 t.可回收油页岩油总资源为 131×10^8 t,查明可回收资源储量为 19×10^8 t,潜在可回收资源量 112×10^8 t.中国油页岩资源集中于松辽、鄂尔多斯、准噶尔、伦坡拉4个盆地.松辽盆地油页岩资源 $3\,974 \times 10^8$ t,占全国的40.8%;鄂尔多斯盆地油页岩资源 $3\,558 \times 10^8$ t,占全国的36.5%;准噶尔盆地油页岩资源 652×10^8 t,占全国的6.7%;伦坡拉盆地油页岩资源 383.98×10^8 t,占全国的3.9%.

4.6 油砂资源分布特征

全国油砂油地质资源量 59.7×10^8 t,可采资源量 22.6×10^8 t(国土资源部油气资源战略研究中心,2009).中国石油矿权范围的油砂点多面广,本次调查评价了10个盆地,在其中发现了规模不等的油砂出露,共评价出油砂油地质资源量 12.55×10^8 t,可采资源量 7.67×10^8 t.其中0~100 m埋深的油砂油地质资源量 7×10^8 t,可采资源量 4.89×10^8 t;100~200 m埋深的油砂油地质资源量 5.55×10^8 t,可采资源量 2.78×10^8 t.

5 剩余资源状况及重点油气勘探领域

5.1 常规剩余油气资源与非常规油气资源

5.1.1 全国常规剩余油气资源 全国常规石油剩余地质资源量 672.84×10^8 t、剩余可采资源 160.26×10^8 t.其中,陆上剩余石油地质资源量 477.80×10^8 t、剩余可采资源 105.44×10^8 t,海域剩余石油地质资源量 195.03×10^8 t、剩余可采资源 54.82×10^8 t(图6).

全国常规天然气剩余地质资源量 $63.89 \times$

10^{12} m³、剩余可采资源 38.74×10^{12} m³.其中,陆上剩余天然气地质资源量 35.10×10^{12} m³、剩余可采资源 18.76×10^{12} m³,海域剩余天然气地质资源量 28.79×10^{12} m³、剩余可采资源 19.98×10^{12} m³(图7).

剩余石油资源主要分布于渤海湾(陆上)、鄂尔多斯、准噶尔、塔里木、松辽、柴达木六大盆地,剩余石油地质资源量 335.07×10^8 t,占陆上剩余石油地质资源量的70%;剩余天然气资源主要分布于四川、塔里木两大盆地,剩余天然气地质资源量 20.35×10^{12} m³,占陆上剩余天然气地质资源量的58%.

5.1.2 非常规油气资源的地位 我国非常规油气资源非常丰富,其中非常规石油地质资源量 672.08×10^8 t,技术可采资源量 151.81×10^8 t;非常规天然气地质资源量 284.95×10^{12} m³,技术可采资源量 89.3×10^{12} m³.非常规石油以油页岩油资源潜力最大,可回收油 131.8×10^8 t,是致密油的10倍以上.非常规天然气以天然气水合物资源最大,可采资源约 53×10^{12} m³,是致密气的5倍.但由于油页岩油和天然气水合物勘探程度太低,尽管资源量很大,但目前难以动用,只能作为未来的战略资源.此外,在非常规石油领域,页岩油资源也不容忽视,根据目前的研究和勘探进展,页岩油资源也相当可观,但由于尚未建立资源评价方法,勘探程度低,本次未把页岩油纳入评价的范畴.

从资源的现实性来看,最现实的为致密油、致密气、页岩气和煤层气资源,致密油可采资源约 12.33×10^8 t.致密气、页岩气和煤层气可采资源为 10.73×10^{12} m³、 12.85×10^{12} m³ 和 12.51×10^{12} m³,三类资源基本相当.但三类资源的富集成藏特征、储层特性和天然气赋存状态有比较大的差异,页岩气和煤层气是源储一体的成藏类型,致密气为外源型;页岩气和煤层气为游离气和吸附气赋存状态,尤其是煤层气几乎全为吸附气,致密气为游离气.因此,三类资源尽管可采资源相当,但可开发动用的难易

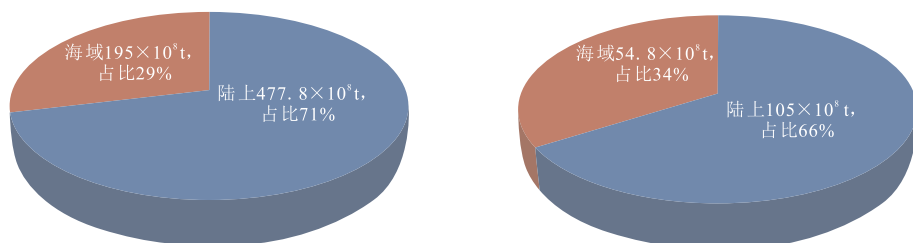


图6 全国陆上和海域剩余石油地质资源(a)、剩余可采资源(b)状况

Fig.6 Surplus petroleum geological (a) and recoverable (b) resources on land and in the sea

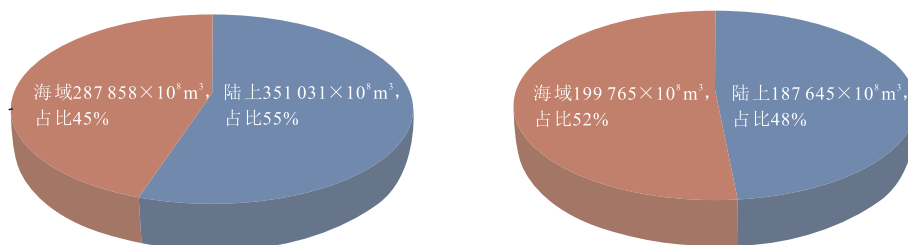


图 7 全国陆上和海域剩余天然气地质资源(a)、剩余可采资源(b)状况

Fig.7 Surplus natural gas geological (a) and recoverable (b) resources on land and in the sea

程度必然有很大的不同,这就决定了在现有技术条件下三类非常规油气资源发展的定位不同.与常规油气相比,非常规油气地质认识深度与勘探开发程度都还很低,资源潜力仍有不断增加的趋势,开发利用前景十分广阔,在未来油气工业发展中将会占据重要地位.资源量是一个动态概念,随着研究认识程度与勘探开发技术的进步,技术可采资源量还会发生变化.

5.2 重点油气勘探领域

5.2.1 常规油气勘探领域

依据本次资源评价结果,结合近 10 年来油气勘探进展及探明储量状况,笔者对剩余油气资源分布的领域进行了详细分析(表 6).结果表明,我国陆上常规剩余油气资源主要分布在岩性—地层(碎屑岩)、复杂构造(碎屑岩)、海相碳酸盐岩、前陆冲断带四大重点领域.其中,陆上剩余石油资源主要分布在岩性—地层(碎屑岩)、复杂构造(碎屑岩)两大领域,陆上剩余天然气资源主要分布在海相碳酸盐岩、前陆冲断带两大领域.海域油气资源主要分布在构造、生物礁、深水岩性 3 个领域.

(1)常规石油剩余资源领域分布.我国陆上常规石油剩余资源量 $477.80 \times 10^8 \text{ t}$,其中岩性—地层(碎屑岩)领域剩余地质资源 $230.39 \times 10^8 \text{ t}$,复杂构造领域剩余地质资源 $108.58 \times 10^8 \text{ t}$,两者合计剩余资源量 $338.97 \times 10^8 \text{ t}$,占陆上剩余石油资源的 71%.前陆冲断带、海相碳酸盐岩、复杂岩性(潜山、火山岩、湖相碳酸盐岩)、滩海 4 个领域剩余石油地质资源量合计 $138.83 \times 10^8 \text{ t}$,占陆上剩余石油资源的 29%.

岩性—地层(碎屑岩)领域根据沉积相划分为湖相碎屑岩和海相碎屑岩两类,绝大部分集中于湖相碎屑岩岩性—地层领域.该领域剩余石油地质资源主要分布于我国中部地区鄂尔多斯盆地延长组、东部地区渤海湾盆地沙河街组与松辽盆地萨葡高油层组、西部地区准噶尔与柴达木盆地干柴沟组,以富油

气凹陷及富油气区带为主.

从复杂构造领域剩余石油资源盆地间分布来看,剩余资源量仍然分布在主要含油气盆地,如松辽、渤海湾(陆上)、柴达木、海拉尔、吐哈、二连等,占该领域剩余资源的 74%.由于经过 60 多年的勘探,主要含油气盆地碎屑岩构造型油气藏多已被发现与开发,勘探程度均较高.现今在主要含油气盆地富油气凹陷碎屑岩构造型油气藏发现难度越来越大,多以复杂断块构造为主,而众多中小含油气盆地目前剩余的碎屑岩构造型石油资源面临勘探程度低、资源丰度低、分布分散不集中、发现规模储量难度大等问题.

(2)常规天然气剩余资源领域分布.我国陆上常规天然气剩余地质资源 $35.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中海相碳酸盐岩领域剩余地质资源 $16.09 \times 10^8 \text{ m}^3$,前陆冲断带领域剩余地质资源 $6.92 \times 10^8 \text{ m}^3$,两者合计剩余资源量 $23.02 \times 10^8 \text{ m}^3$,占陆上剩余天然气资源的 66%.岩性—地层(碎屑岩)、复杂构造、复杂岩性(潜山、火山岩、湖相碳酸盐岩)、滩海 4 个领域剩余天然气地质资源量合计 $12.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,占陆上剩余资源的 34%.

海相碳酸盐岩领域是天然气勘探的重点领域,剩余地质资源主要集中分布于我国中西部三大海相叠合盆地下组合,四川盆地的川中低隆起区、塔里木盆地塔中与巴楚隆起区、鄂尔多斯盆地伊陕斜坡区的碳酸盐岩礁滩体、风化岩溶带与白云岩溶蚀带.

前陆冲断带领域剩余地质资源主要集中分布于我国西部前陆型叠合盆地,塔里木库车与塔西南坳陷、准噶尔盆地南缘北天山山前坳陷区、柴达木盆地柴北缘与三湖坳陷区.

(3)海域常规剩余油气资源领域分布.我国海域常规剩余油气资源较为丰富,其中常规石油剩余地质资源量主要集中在构造与深水岩性两大领域,构造领域剩余石油地质资源量 $137.40 \times 10^8 \text{ t}$,深水岩

表6 我国常规油气资源勘探领域分布

Table 6 Summary of explorative regions for the residue resources of oil and natural gas of China

含油气区	勘探领域	常规石油资源(10^8 t)			常规天然气资源(10^8 m ³)			
		探明地质储量	剩余地质资源量	总地质资源量	探明地质储量	剩余地质资源量	总地质资源量	
我国 陆上	岩性—地层(碎屑岩)	152.74	230.39	383.13	4 180.92	39 580.5	43 761.42	
	海相碳酸盐岩	16.58	53.96	70.54	33 865.69	160 930.88	194 796.57	
	前陆冲断带	21.14	33.69	54.83	10 223.23	69 237.53	79 460.76	
	复杂构造(碎屑岩)	99.48	108.58	208.06	4 706.23	40 644.43	45 350.66	
	潜山	15.40	16.20	31.60	924.07	11 374.74	12 298.81	
	复杂 岩性	火山岩	2.29	12.25	14.54	4 398.93	24 304.96	28 703.89
	湖相碳酸盐岩	1.87	5.35	7.22	7.25	4 368.41	4 375.66	
	滩海	4.86	17.39	22.25	308.28	990.11	1 298.39	
	构造	81.50	137.40	218.90	29 082.26	145 724.01	174 806.27	
	生物礁	9.56	21.96	31.52	48 933.78	70 431.73	119 365.52	
我国 海域	深水岩性	1.58	29.79	31.37	8 380.27	63 547.74	71 928.01	
	基岩潜山	0.49	5.88	6.37	121.57	8 154.63	8 276.20	
合计		407.48	672.84	1 080.31	145 132.49	639 289.66	784 422.16	

性领域剩余石油地质资源量 29.79×10^8 t, 两者合计 167.19×10^8 t, 占中石油海域剩余石油资源的 86%。常规天然气剩余地质资源量集中于构造、生物礁、深水岩性三大领域, 其中构造领域剩余天然气地质资源量 14.57×10^{12} m³, 生物礁领域 7.04×10^{12} m³, 深水岩性领域 6.35×10^{12} m³, 三者合计 27.97×10^{12} m³, 占海域剩余天然气资源的 97%。

5.2.2 非常规油气勘探领域 通过近几年在非常规油气领域的积极探索, 在致密油、致密气、页岩气和煤层气领域均取得较大进展, 获得了一批储量和产量, 尤其致密气资源, 产量已占到我国天然气年产量的 33%, 成为天然气大发展的重要保证。因此这 4 类资源成为我国目前最为现实的可勘探开发利用的非常规油气资源。

致密油领域, 目前仅探明可采储量 0.91×10^8 t, 剩余可采资源 11.43×10^8 t。从剩余资源分布来看, 可采资源大于 1×10^8 t 的领域主要集中在鄂尔多斯、松辽、渤海湾、准噶尔、四川盆地。依据致密油成藏条件的差异, 主要勘探领域为鄂尔多斯的长 7 致密油、松辽盆地的扶余致密油、渤海湾盆地的辽河西部凹陷—大民屯凹陷—束鹿凹陷—沧东凹陷—岐北斜坡沙河街组致密油、准噶尔盆地的吉木萨尔致密油等。非常规致密油正在成为石油勘探与开发的接替领域, 应立足陆相大型坳陷型盆地优质烃源岩发育区, 如鄂尔多斯盆地长 7 段、松辽盆地扶余油层、准噶尔盆地二叠系芦苇沟组、四川盆地侏罗系、渤海湾盆地沙三—孔二段、柴达木盆地柴西缘。

致密气领域, 目前探明可采储量 3.96×10^{12} m³, 已探明总资源量的 33%, 探明率达到 36.9%, 剩余可采资源 6.97×10^{12} m³。从剩余资源量分布来看, 未来致密气的勘探领域仍集中在鄂尔多斯和四川盆地, 松辽盆地深层致密气也不容忽视, 是潜在的勘探领域。非常规致密砂岩气现已成为天然气勘探与开发的现实接替领域, 应立足鄂尔多斯盆地石炭—二叠系与四川盆地三叠系须家河组、侏罗系; 积极拓展东部松辽盆地深层断陷, 西部准噶尔盆地二叠系、塔里木盆地库车坳陷与吐哈盆地侏罗系。

页岩气领域, 目前仅探明可采储量 1.360×10^8 m³, 探明程度极低, 剩余可采资源 12.7×10^{12} m³。从剩余资源量分布来看, 页岩气资源主要富集在海相地层, 尤其是南方寒武系和志留系海相页岩气。未来页岩气勘探领域主要在四川盆地的寒武系和志留系, 鄂尔多斯盆地海陆过渡相石炭—二叠系页岩气剩余资源也比较大, 该领域也应给予关注。积极准备非常规页岩气, 应立足我国南方中上扬子地台区下古生界海相优质页岩发育区, 如四川盆地的志留系龙马溪组。

煤层气领域, 目前探明可采储量 3.167×10^8 m³, 探明程度很低, 剩余可采资源 12.2×10^{12} m³。从剩余资源分布来看, 主要在鄂尔多斯的石炭—二叠系、准噶尔盆地的侏罗系、沁水盆地的石炭—二叠系、滇东黔西的二叠系, 上述这些盆地和地区是煤层气未来重要的勘探领域。积极准备非常规煤层气, 应立足我国主要含煤沉积盆地, 在努力拓展

沁水盆地与鄂尔多斯盆地东缘、东部和南方中小型盆地中高阶煤层气领域的同时,积极准备准噶尔、鄂尔多斯、松辽、海拉尔、二连、吐哈等盆地低阶煤层气。

6 结论

(1) 2017 年,我国石油年新增探明地质储量 8.77×10^8 t、年产原油 1.915×10^8 t,储量、产量同比双双下降,中国原油对外依存度超过 68%;我国天然气年产量 1492×10^8 m³,保持高位增长,但 2017 年天然气新增探明地质储量同比下降 23.6%。亟需开展相关研究,客观评价我国油气资源家底,以支撑我国石油工业的发展。

(2) 中国石油设立“中国石油第四次油气资源评价”重大科技专项,专项研究我国常规与非常规油气资源潜力,评价显示全国常规石油地质资源量 1080.31×10^8 t,其中陆上资源 792.16×10^8 t,占比 73%,海域资源 288.15×10^8 t,占比 27%;常规天然气地质资源量 78.44×10^{12} m³,其中陆上资源 41×10^{12} m³,占比 52%,海域资源 37.44×10^{12} m³,占比 48%。

(3) 首次系统评价我国 7 类非常规油气资源,评价结果显示我国非常规油气资源非常丰富,其中非常规石油地质资源量 672.08×10^8 t,技术可采资源量 151.81×10^8 t;非常规天然气地质资源量 284.95×10^{12} m³,技术可采资源量 89.3×10^{12} m³,其中,致密油地质资源量 125.80×10^8 t,油砂油地质资源量 12.55×10^8 t,页岩油地质资源量 533.73×10^8 t;致密砂岩气地质资源量 21.86×10^{12} m³,页岩气地质资源量 80.21×10^{12} m³,煤层气地质资源量 29.82×10^{12} m³,天然气水合物 153.06×10^{12} m³。

(4) 我国陆上常规石油剩余资源量 477.80×10^8 t,其中岩性—地层(碎屑岩)领域剩余地质资源 230.39×10^8 t,复杂构造领域剩余地质资源 108.58×10^8 t,两者合计剩余资源量 338.97×10^8 t,占陆上剩余石油资源的 71%。前陆冲断带、海相碳酸盐岩、复杂岩性(潜山、火山岩、湖相碳酸盐岩)、滩海 4 个领域剩余石油地质资源量合计 138.83×10^8 t,占陆上剩余石油资源的 29%。

(5) 我国陆上常规天然气剩余地质资源 35.14×10^8 m³,其中海相碳酸盐岩领域剩余地质资源 16.09×10^8 m³,前陆冲断带领域剩余地质资源 6.92×10^8 m³,两者合计剩余资源量 23.02×10^8 m³,占陆上剩余天然气资源的 66%。岩性—地层

(碎屑岩)、复杂构造、复杂岩性(潜山、火山岩、湖相碳酸盐岩)、滩海 4 个领域剩余天然气地质资源量合计 12.13×10^8 m³,占陆上剩余资源的 34%。

(6) 我国海域常规剩余油气资源较为丰富,其中常规石油剩余地质资源量主要集中在构造与深水岩性两大领域,构造领域剩余石油地质资源量 137.40×10^8 t,深水岩性领域剩余石油地质资源量 29.79×10^8 t,两者合计 167.19×10^8 t,占中石油海域剩余石油资源的 86%。常规天然气剩余地质资源量集中于构造、生物礁、深水岩性三大领域,其中构造领域剩余天然气地质资源量 14.57×10^{12} m³,生物礁领域 7.04×10^{12} m³,深水岩性领域 6.35×10^{12} m³,三者合计 27.97×10^{12} m³,占海域剩余天然气资源的 97%。

致谢:该项工作研究期间,得到中国石油天然气股份有限公司科技管理部、勘探与生产分公司等领导的大力支持与帮助,项目组长贾承造院士、赵文智院士、邹才能院士等从立项、实施及合理性分析各个方面参与了大量工作,给予项目组大力支持与指导,中国石油 16 家油气田公司通力合作,共同完成该项研究工作。同时,项目指导专家在研究各个阶段给予了指导和帮助,相关参考文献与研究报告也为该项研究工作的完成提供了有益借鉴。在此谨向支持、指导、关心该项研究工作的领导、专家、同事表达最诚挚的感谢!

References

- Dong, D. Z., Zou, C. N., Li, J. Z., et al., 2011. Resource Potential, Exploration and Development Prospect of Shale Gas in the Whole World. *Geological Bulletin of China*, 30(2-3): 324-336 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Q. L., Chen, N. S., Liu, C. L., et al., 2015. Research Advance of Hydrocarbon Resource Assessment Method and a New Assessment Software System. *Acta Petrolei Sinica*, 36(10): 1305-1314 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Q. L., Yan, W., Gao, R. L., et al., 2014. Application and Comparison of Three Petroleum Resource Assessment Methods. *China Petroleum Exploration*, 19(1): 50-59 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Q. L., Zhou, C. Q., Chen N. S., et al., 2011. Evaluation Methods for Unconventional Hydrocarbon Resources. *Lithologic Reservoirs*, 23(4): 12-19 (in Chinese with English abstract).
- Guo, X. S., 2017. Sequence Stratigraphy and Evolution Model of the Wufeng-Longmaxi Shale in the Upper Yangtze

- Area. *Earth Science*, 42(7): 1069—1082 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.086>
- Jia, C. Z., Zhao, Z. Z., Du, J. H., et al., 2008. PetroChina Key Exploration Domains: Geological Cognition, Core Technology, Exploration Effect and Exploration Direction. *Petroleum Exploration and Development*, 35(4): 385—396 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Z., Wu, X. Z., Zheng, M., et al., 2016. General Philosophy, Method System and Key Technology of Conventional and Unconventional Oil & Gas Resource Assessment. *Natural Gas Geoscience*, 27(9): 1557—1565 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Z., Zheng, M., Chen, X. M., et al., 2015. Connotation Analysis, Source-Reservoir Assemblage Types and Development Potential of Unconventional Hydrocarbons in China. *Acta Petrolei Sinica*, 36(5): 521—532 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. Q., Jiang, X. F., 2018. Development Report of Domestic and Foreign Oil and Gas Industry in 2017. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Strategic Research Center of Oil and Gas Resource, Ministry of Land and Resources, 2009. New Round of National Oil and Gas Resource Evaluation. China Land Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, S. J., Li, F., Guo, Q. L., et al., 2016. Tight Oil Resource Assessment Methods and Key Parameters. *Natural Gas Geoscience*, 27(9): 1576—1582 (in Chinese with English abstract).
- Wu, X. Z., Wang, S. J., Zheng, M., et al., 2016. Standard System Establishment for Conventional and Unconventional Hydrocarbon Resources Assessment Techniques and Its Significance. *Natural Gas Geoscience*, 27(9): 1640—1650 (in Chinese with English abstract).
- Xie, H. W., Chen, X. W., Zhu, M., et al., 2017. Deformation Characteristics, Tectonic Evolution and Their Control on Deep Petroleum Accumulation of Mazhatage Fault Belt in Tarim Basin. *Earth Science*, 42(9): 1578—1589 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.504>
- Zheng, M., Jia, C. Z., Feng, Z. Q., et al., 2010. Potential Replacement Regions of Hydrocarbon Reserves in Exploration Domain of Foreland Basins. *Acta Petrolei Sinica*, 31(5): 723—728 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, M., Li, J. Z., Wu, X. Z., et al., 2018. China's Conventional and Unconventional Natural Gas Resource Potential, Key Explorative Fields and Direction. *Natural Gas Geoscience*, 29(10): 1383—1397 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 董大忠, 邹才能, 李建忠, 等, 2011. 页岩气资源潜力与勘探开发前景. 地质通报, 30(2-3): 324—336.
- 郭秋麟, 陈宁生, 刘成林, 等, 2015. 油气资源评价方法研究进展与新一代评价软件系统. 石油学报, 36(10): 1305—1314.
- 郭秋麟, 闫伟, 高日丽, 等, 2014. 3种重要的油气资源评价方法及应用对比. 中国石油勘探, 19(1): 50—59.
- 郭秋麟, 周长迁, 陈宁生, 等, 2011. 非常规油气资源评价方法研究. 岩性油气藏, 23(4): 12—19.
- 国土资源部油气资源战略研究中心, 2009. 新一轮全国油气资源评价. 北京: 中国大地出版社.
- 郭旭升, 2017. 上扬子地区五峰组—龙马溪组页岩层序地层及演化模式. 地球科学, 42(7): 1069—1082. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.086>
- 贾承造, 赵政璋, 杜金虎, 等, 2008. 中国石油重点勘探领域——地质认识、核心技术、勘探成效及勘探方向. 石油勘探与开发, 35(4): 385—396.
- 李建忠, 吴晓智, 郑民, 等, 2016. 常规与非常规油气资源评价的总体思路、方法体系与关键技术. 天然气地球科学, 27(9): 1557—1565.
- 李建忠, 郑民, 陈晓明, 等, 2015. 非常规油气内涵辨析、源—储组合类型及中国非常规油气发展潜力. 石油学报, 36(5): 521—532.
- 刘朝全, 姜学峰, 2018. 2017年国内外油气行业发展报告. 北京: 石油工业出版社.
- 王社教, 李峰, 郭秋麟, 等, 2016. 致密油资源评价方法及关键参数研究. 天然气地球科学, 27(9): 1576—1582.
- 吴晓智, 王社教, 郑民, 等, 2016. 常规与非常规油气资源评价技术规范体系建立及意义. 天然气地球科学, 27(9): 1640—1650.
- 谢会文, 陈新伟, 朱民, 等, 2017. 塔里木盆地玛扎塔格断裂带变形特征、演化及对深层油气成藏的控制. 地球科学, 42(9): 1578—1589. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.504>
- 郑民, 贾承造, 冯志强, 等, 2010. 前陆盆地勘探领域三个潜在的油气接替区. 石油学报, 31(5): 723—728.
- 郑民, 李建忠, 吴晓智, 等, 2018. 我国常规与非常规天然气资源潜力、重点领域与勘探方向. 天然气地球科学, 29(10): 1383—1397.