

中国油气资源研究现状与发展方向

贾承造^{1,2,3*}, 庞雄奇^{1,2}, 姜福杰^{1,2}

1 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

2 中国石油大学(北京), 北京 102249

3 中国石油天然气集团公司, 北京 100724

* 通信作者, jiacz@petrochina.com.cn

收稿日期: 2016-05-12

国家重点基础研究发展规划“973”项目(2011CB201100)资助

摘要 中国油气资源将长期处于短缺状态。自1993年中国成为石油净进口国以来, 油气进口量逐年增加, 2015年分别达到3.28亿t和624亿m³。据中国工程院和国际能源署(IEA)等单位预测: 中国未来将长期处于油气短缺状态, 石油对外依存度将从2015年的65%提高到2030年的80%以上; 油气资源在中国能源结构中的比率目前不到23%, 与美国的67%和俄罗斯的75%相比严重偏低, 大幅度提高油气资源的比率对于减少污染和提高人民生活水平具有现实意义。

中国油气资源丰富, 但地质条件十分复杂且开发成本高。具体表现为: 中国的油气资源分布高度不均, 在不同盆地、不同年代地层、不同埋藏深度条件下差异性大; 中国油气资源中非常规油气资源比率高且种类多; 中国油气资源中易勘探开发的常规油气资源比率少、油气资源品质总体较差、剩余油气资源赋存的地质条件恶劣, 勘探难度大且成本高。中国油气资源勘探开发研究虽取得了重大进展, 但仍与国外先进水平有较大差距。理论上, 在中国复杂叠合盆地的形成演化、地层划分、岩石类型成因、天然气成因类型鉴别等方面取得了重要进展; 技术上, 在复杂地质条件下的油气勘探技术、复杂油气藏的开发与开采技术等方面取得了重要进展; 装备上, 研发了超万米钻机、海洋985钻井平台、大型压裂车、X100级管线钢、地质导向PDC钻头等设备。尽管如此, 中国在非常规、深层、深海等关键领域的油气勘探开发技术上还大幅度落后于发达国家, 处于领先的高新技术所占比率不超过30%, 60%以上的技术处于跟踪状态。中国油气资源研究面临3方面挑战: 一是中国国内油气资源勘探开发的难度大且成本高, 每年发现储量增长缓慢, 储产比非常低, 需要加大关键技术研发力度; 二是中国油气资源勘探开发关键技术研发投入的经费少且变化性大, 不利于原创性技术的产生与应用, 需要调整基础研究、技术研发和规模化应用的投入比率; 三是中国非常规油气资源、深层油气资源、深海油气资源、老区剩余油气资源等较为丰富、目前储量增长势头良好, 反映了油气资源的发展方向, 但当前面临的突出问题需要集中力量予以解决。

关键词 中国油气资源; 油气勘探开发; 非常规油气; 深层油气; 深海油气

1 中国油气资源将长期处于短缺状态

1.1 中国油气资源自1993年起一直处于短缺状态

截至2015年底, 中国石油剩余技术可采储量为

34.96亿t, 石油储采比为16:1, 远远低于全球平均水平的53:1; 天然气剩余技术可采储量为5200亿m³, 天然气储采比约为41:1, 同样低于全球平均水平^[1]。随着国民经济的飞速发展, 中国油气资源消耗巨大, 国内油气产量根本无法自给自足, 油气资源严重短缺

引用格式: 贾承造, 庞雄奇, 姜福杰. 中国油气资源研究现状与发展方向. 石油科学通报, 2016, 01: 2-23

JIA Chengzao, PANG Xiongqi, JIANG Fujie. Research status and development directions of hydrocarbon resources in China. Petroleum Science Bulletin, 2016, 01: 2-23. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2016.01.001

已成事实。自1993年以来,中国石油进口量持续增长,对外依存度不断提高;2008年石油净进口量首次超过2亿t,当年石油对外依存度为53.8%;2015年石油表观消费量估计为5.43亿t,对外依存度达到60.6%(图1)^[2]。

天然气是近年来全球能源发展的趋势和热点。发展天然气对改善中国能源结构,保护大气环境,在一定程度上缓解石油供应压力,实现国民经济的可持续发展,应对气候变化等都具有重要的促进和保障作用。2000年中国天然气产量为272亿m³,到2013年产量上升到1350亿m³,增长了近4倍^[3]。与此同

时,中国天然气消费量也以惊人的速度上涨,2000年天然气消费量为245.03亿m³,到2015年上升到1910亿m³^[4]。从2007年开始中国成为天然气净进口国,到2015年超过1/4的天然气消费依赖进口,天然气对外依存度已达32.2%。据预测,2016年中国天然气需求量将迎来历史性关口,有望突破2000亿m³,对外依存度也上升至33.7%(图2)^[2]。

1.2 中国油气资源比率在当前能源消费结构中严重偏低

近年来,随着经济的高速增长,中国的能源消费总量不断上升。根据国家统计局的最新数据,2000年

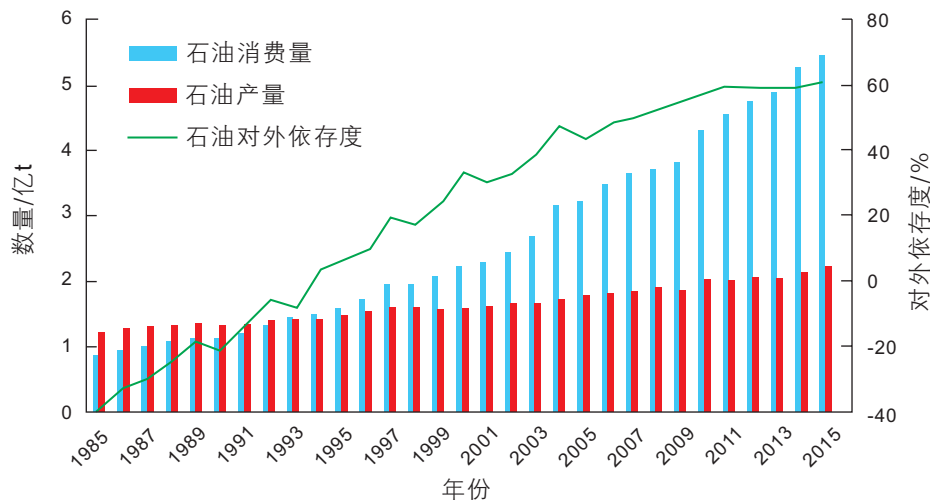


图1 1985-2015年中国石油消费量和对外依存度

Fig. 1 Petroleum consumption and external dependence of China from 1985 to 2015

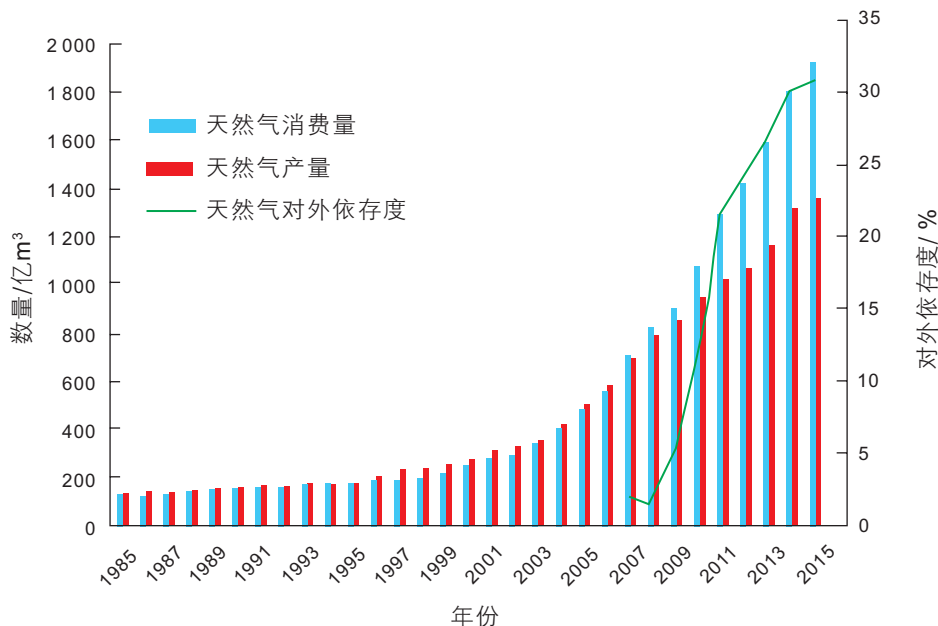


图2 1985-2015年中国天然气消费量和对外依存度

Fig. 2 Natural gas consumption and external dependence of China from 1985 to 2015

中国一次能源消费总量为 14.55 亿 t 标准煤, 到 2015 年增长到 43 亿 t 标准煤, 增长了近 2 倍^[2]。在中国的一次能源消费总量中, 煤炭、石油和天然气是 3 大主要的能源消费类型, 三者消费总比重超过 90%, 其中煤炭比例最大(图 3)^[2]。由于历史原因, 中国一度实行自给自足的内向型能源发展战略。基于中国煤炭资源储量丰富, 勘探、开采等技术相对石油和天然气而言具有较大优势, 中国成为当今世界上能源结构以煤炭为基础的少数国家之一, 远远偏离了世界能源结构以油气为发展趋势的主流^[5]。中国的能源消费结构极其不平衡, 煤炭占比过高, 油气占比偏低(图 4)。

1.3 中国油气资源在未来还将长期处于短缺状态

作为油气资源消耗大国, 中国油气资源的消费动

向和趋势对全球能源供需格局有着重大的影响, 国际各大能源机构都非常关注中国的油气供需状况及未来走势。

OPEC 在 2013 年发布的世界石油展望预测结果^[6]显示, 未来石油需求仍将快速增长。从中期来看, 2012 年至 2018 年间, 石油消费量年均增长率为 3.45%, 到 2018 年石油需求量将超过 6 亿 t; 从长期来看, 到 2035 年, 石油需求量将增长到 8.94 亿 t, 是 2012 年的 1.8 倍, 年均增速约为 2.6%。与石油需求相比, 中国石油的产量明显乏力, OPEC 的预测结果显示无论从中期还是长期来看, 中国石油供给维持在 2.2 亿 t 左右, 增长空间基本为零。图 5 是不同单位和研究者对中国未来油气消耗量变化预测结果。

IEA 作为非石油输出国的国际能源机构, 在国际

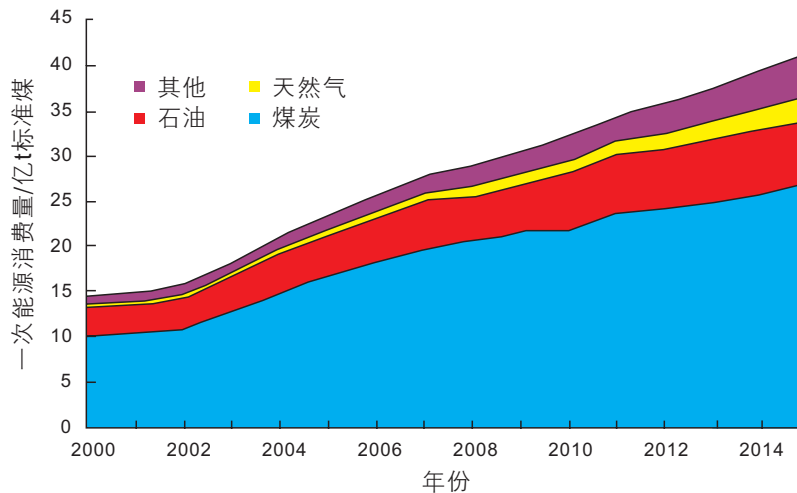


图 3 2000-2015 年中国一次能源消费量^[2]

Fig. 3 Primary energy consumption of China from 2000 to 2015^[2]

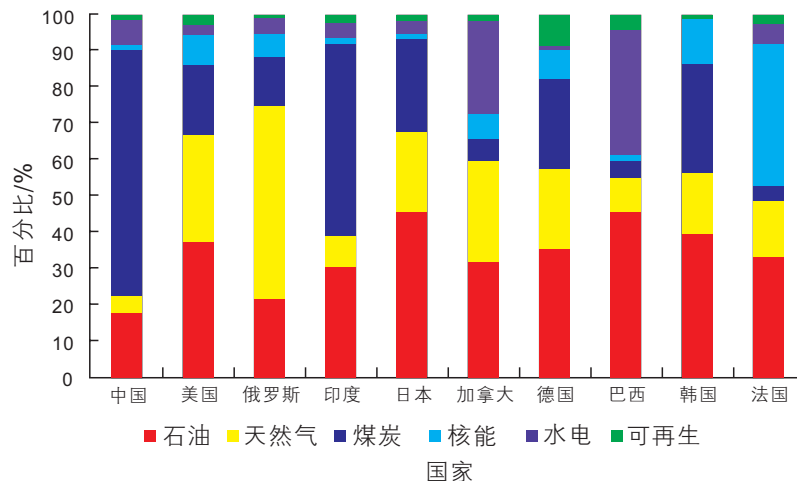


图 4 2015 年世界能源消费量前 10 位国家一次能源消费结构对比^[5]

Fig. 4 Consumption structure comparison of 10 countries with largest world's energy consumption in 2015^[5]

能源界具有很高的权威性，它也会定期发布对OECD国家和非OECD国家以及OPEC国家未来石油供给和需求的期望，对全球能源供需状况进行预测。IEA对中国未来石油需求量的预测结果略小于OPEC^[7]。在IEA新政策情景预测下，2035年中国石油需求量将逼近8亿t，比OPEC的预测结果少近1亿t(图5)。BP在其2014年1月份发布的《2035世界能源展望》^[8]指出中国的石油消费将在2029年超过美国，成为世界上石油消费量最大的国家。到2035年，中国的石油需求将高达1800万桶/d，斜约为9亿t(图5)。中国工程院在2011年完成的“中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究”重大咨询项目^[9]中指出，预计到2030年前后中国能源发展将出现历史性的转折点。在2020年前中国石油消费将以2.64%的速度增长，2020年后中国石油需求的增长速度将明显放缓，在21世纪上半叶的后30年中，中国石油的消费量总增长将不超过1亿t(图5)。由于在预测方法、主要情景的假定和表述以及预测日期和预测目标上存在差别，几大权威能源研究机构的预测结果在数值上存在一定的差异(图5)；但总体来看，各大机构的预测结果都显示在未来很长的一段时期内，中国的石油消费量将继续快速增长，中国国内的石油产量增长空间有限，未来中国油气资源的供需缺口仍将不断扩大，进口量将不断增加，石油对外依存度也将不断增大(图6)。

与石油相比，中国的天然气供需增长更快。在IEA的新政策情景下，中国将是天然气需求上升最快的国家，到2035年将达到5290亿m³^[6]，当然这将取决于非常规天然气开发的进展和天然气批发定价实施的广泛性和及时性。IEA的预测指出，页岩气将是中国天然气产量突破的关键。预测认为，在21世纪的

第2个10年中国页岩气产能的建立相对较为缓慢，直到后几年才有所好转，之后随着行业规模的不断扩大，产量增涨迅速，到2035年中国页岩气产量有望达到1200亿m³，占全部天然气产量的38%。BP《2035世界能源展望》^[8]也指出，在展望期内，中国国内天然气产量强劲增长，年均增速将达5.7%。其中页岩气是增长最快的气源，将以年均42.7%的速度增长，其中大部分供应将在2020年后提供。尽管如此，由于中国需求的快速增长，中国的天然气净进口量仍将以年均8.3%的速度快速增加。在中国工程院的供需情景中，2030年中国国内天然气产量将达到3000亿m³，加上进口，天然气消费量占一次能源消费的比例将达到10%，天然气将成为能源发展战略中的一个亮点和能源结构中的绿色支柱之一^[9]。从图7可以看出，各个机构的预测结果均表明中国天然气供需将以较快的速度增长；但是由于供需增长速度不一，对外依存度的预测结果相差较大。综合以上数据不难看出，无论是石油还是天然气，中国的需求都将持续快速增长，在国内产能很难获得较大突破的情况下，中国油气资源的供需缺口将不断拉大，油气对外依存度将持续走高，中国的油气安全形势十分严峻。

2 中国油气资源丰富但地质条件十分复杂

2.1 中国油气资源分布高度不均

2.1.1 分布在不同盆地内

中国石油资源量的分布相对集中，从不同盆地油气资源分布情况来看，主要分布在渤海湾、松辽、塔里木、鄂尔多斯、准噶尔等8个盆地，且8个盆地的

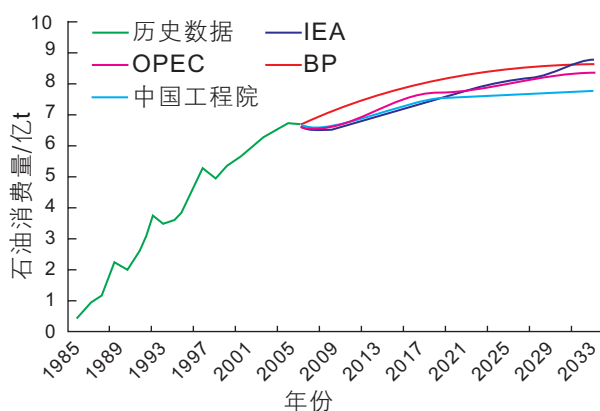


图5 不同研究机构对中国未来石油需求预测结果对比

Fig. 5 Petroleum demand forecast of China by different research institutions

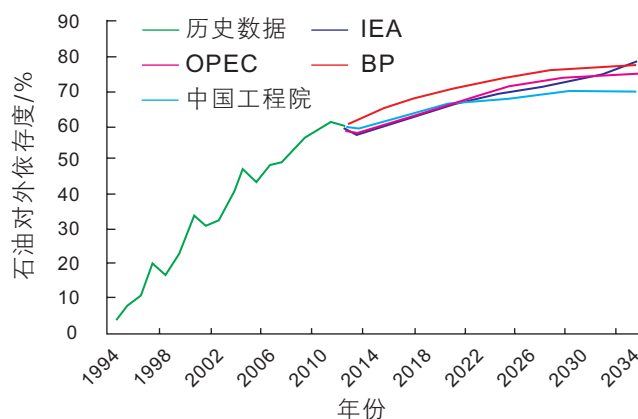


图6 不同研究机构对中国石油对外依存度变化预测结果对比

Fig. 6 Petroleum external dependence forecast of China by different research institutions

地质资源量均大于 10 亿 t^[10]。其中东部的渤海湾盆地和松辽盆地石油资源最为富集,石油地质资源量分别达 308 亿和 150 亿 t;其次中部的鄂尔多斯盆地、西部的塔里木盆地和柴达木盆地石油地质资源量均超过 120 亿 t(图 8)。中国各盆地天然气资源的分布也相对集中,主要分布在塔里木、四川、鄂尔多斯及柴达木等 11 个含油气盆地。其中鄂尔多斯盆地和塔里木盆地

最为富集,天然气地质资源量超过 14 万亿 m³;其次为四川盆地,其地质资源量接近 10 万亿 m³(图 8)。

2.1.2 分布在不同年代地层内

从不同层系的油气资源分布来看,石油资源集中分布于新生界和中生界地层,其地质资源量分别为 299.73 亿 t 和 359.51 亿 t,分别占全国的 39.18% 和 46.99%,不同地区分布特征略有不同,东部石油资

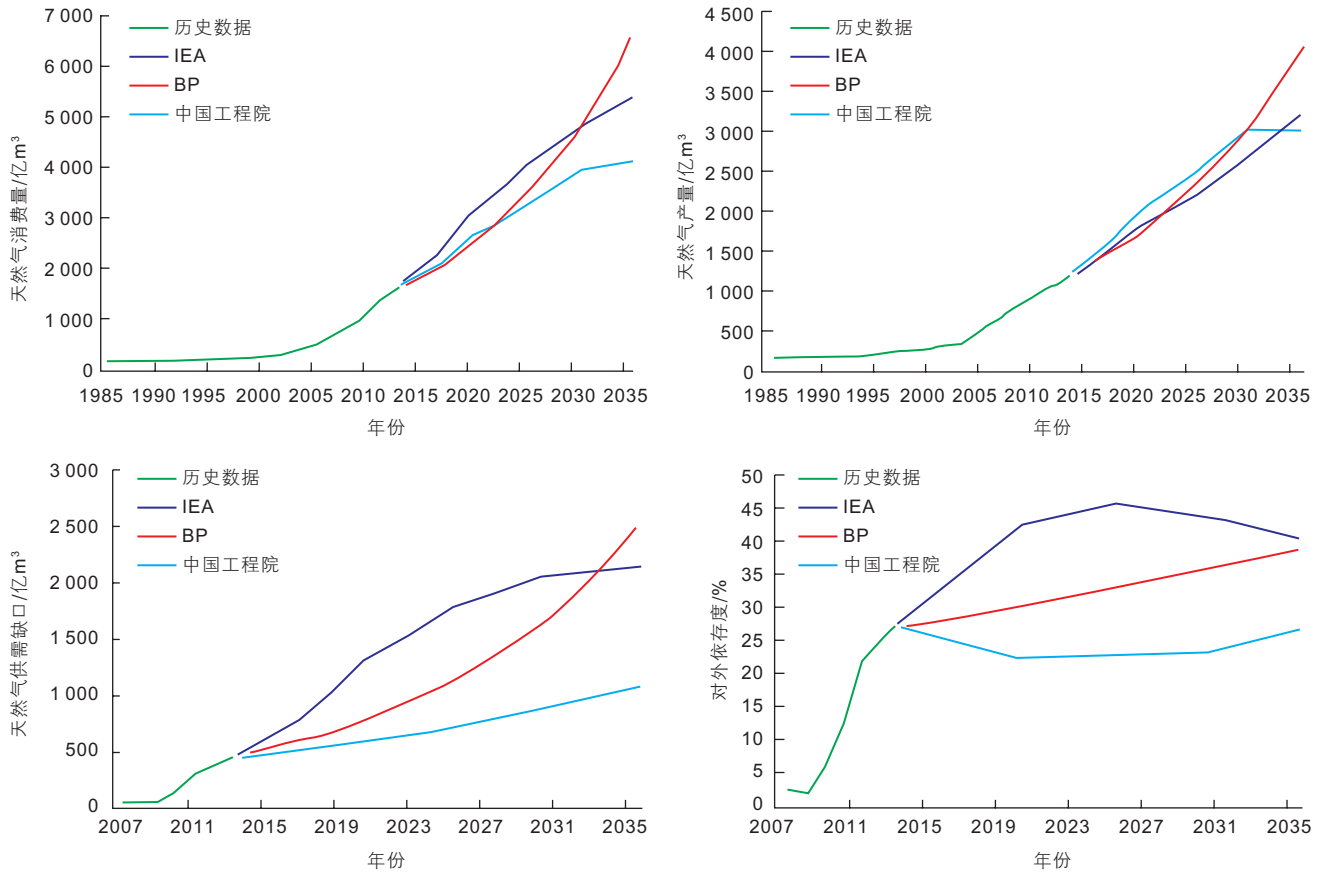


图 7 不同研究机构对中国天然气供需及对外依存度预测

Fig. 7 Natural gas supply-demand and external dependence forecast of China by different research institutions

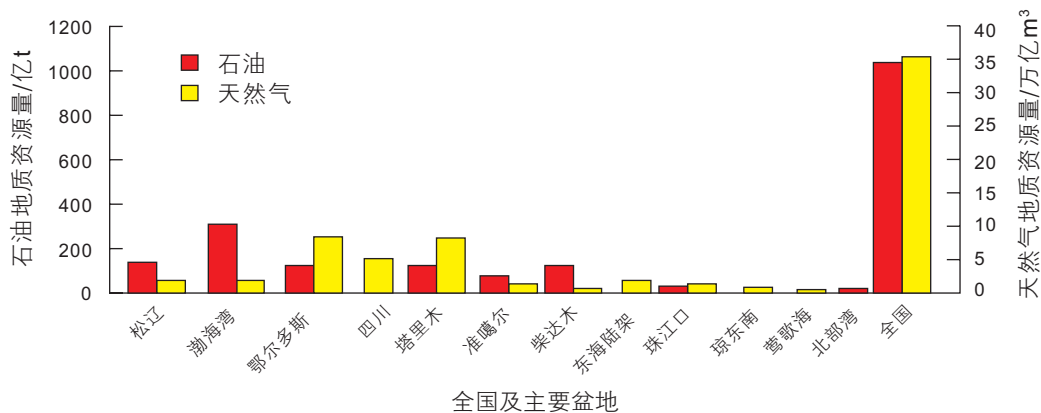


图 8 全国及主要盆地石油与天然气地质资源量柱状图^[10]

Fig. 8 Bar chart of petroleum and natural gas geological resources in Chinese main basins^[10]

源主要分布在新生界和中生界,中部主要分布在中生界,而西部主要分布在中生界、上古生界和下古生界(图9)^[10]。天然气资源也主要分布于新生界和中生界,地质资源量分别为13.25万亿m³和11.31万亿m³,分别占全国的37.82%和32.29%(图9)。不同地区分布特征不同,东部天然气资源主要分布于新生界,中部天然气资源主要分布在上古生界和中生界,西部天然气资源主要分布在新生界和中生界^[10]。

2.1.3 分布在不同埋深条件下

从目前评价的结果来看,常规石油资源集中分布于浅层(<2 000 m)、中深层(2 000~3 500 m),地质资源量分别为413.57亿和197.62亿t,分别占全国总量

的54.06%和25.83%,深层(3 500~4 500 m)和超深层(>4 500 m)石油资源量相对较少(图10)。天然气资源在4个深度范围都有分布,以中深层和深层为主,而实际上差别不是很大;但需要注意的是,这仅是代表常规油气资源的分布,对于非常规油气资源而言,其分布差异较大。

2.2 中国油气资源中非常规油气资源比率高且种类多

2.2.1 非常规油气资源比率高

随着油气勘探的不断深入,常规油气资源勘探已经逐渐转向非常规油气勘探。自1885年怀特提出背斜成藏理论以来,勘探者们开始关注圈闭,形成了圈闭

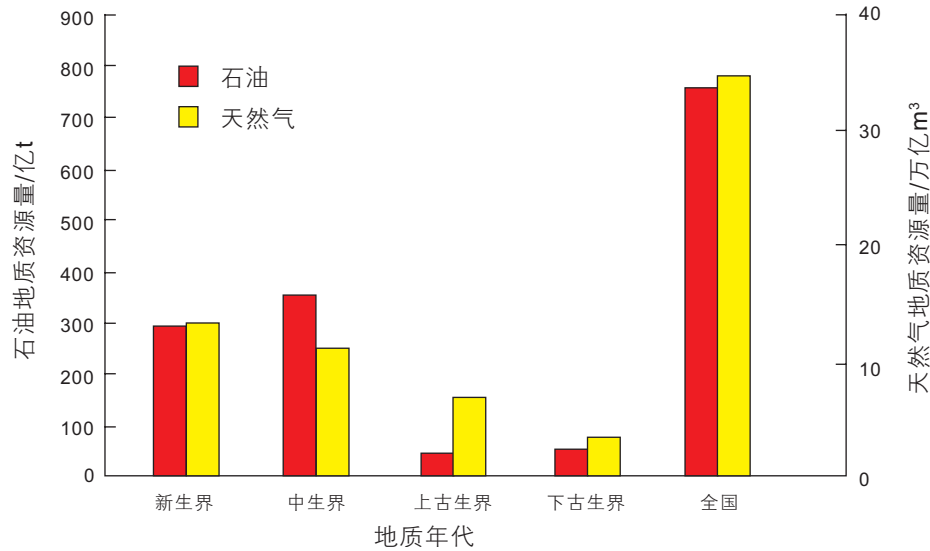


图9 中国不同年代地层内石油和天然气地质资源量柱状图^[10]

Fig. 9 Petroleum and natural gas geological resources in different layers in China^[10]

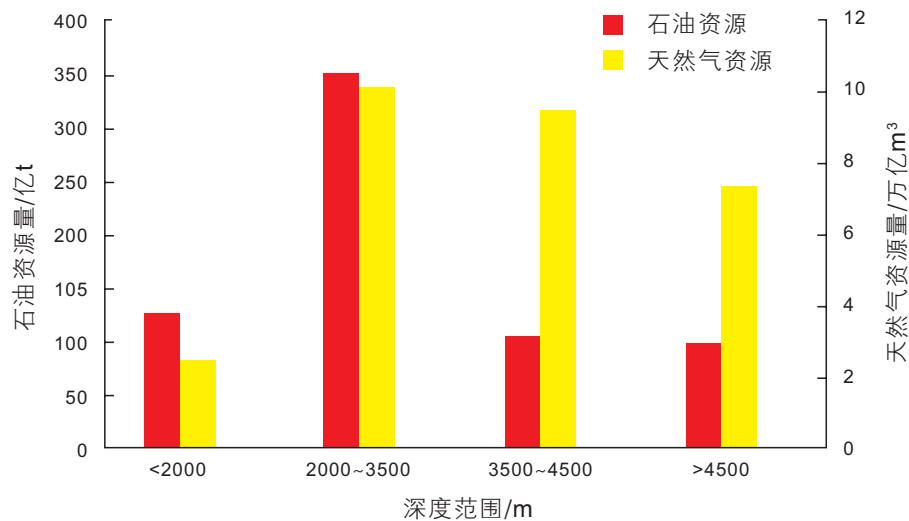


图10 中国石油与天然气在不同埋藏深度下的资源量分布^[11]

Fig. 10 Distribution of petroleum and natural gas geological resources at different depths in China^[11]

找油的理论。之后人们逐渐发现,围绕烃源岩周围一定范围内的圈闭其有效性更好,提出了源控论和含油气系统理论。这些理论都极大地促进了当时油气勘探的进步。目前来看,全球油气勘探呈现着明显的全面(常规加非常规)、多样(各种类型油气资源)、更深(深层加超深层)的特点。

随着勘探技术的不断进步,人们也逐渐认识到非常规油气资源的重要性。这种资源在地下油气资源中的比例非常大。庞雄奇等^[12]对中国主要盆地或凹陷的致密油气资源潜力进行了预测,模拟计算了中国5个重点地区致密油气资源量与相对量。结果表明,5个盆地或地区致密油气所占总资源比例介于37%~98%,平均82%,主要源岩排烃总量约9 695亿t,其中致密油气约7 950亿t。以15%可利用率折算成油气当量,资源当量超过100万亿m³(图11)。

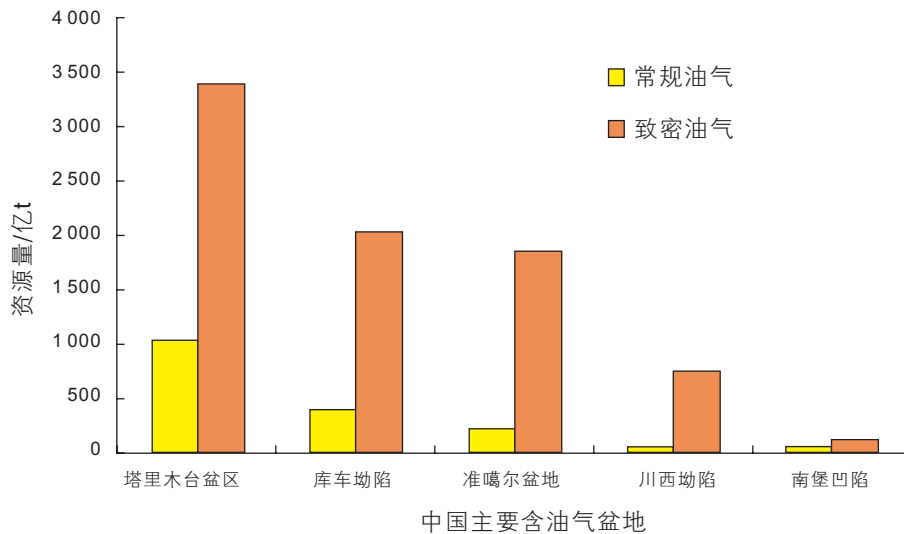


图 11 中国几个主要含油气盆地致密油气资源预测结果比较^[12]

Fig. 11 Comparison of tight oil and gas resources forecast in China main basins^[12]

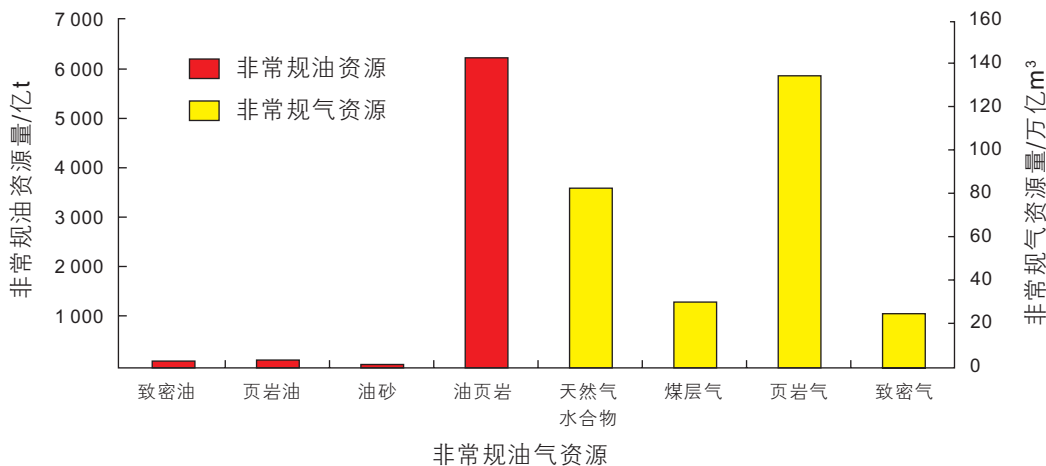


图 12 中国不同的非常规油气地质资源量比较^[13-14]

Fig. 12 Comparison of unconventional hydrocarbon geological resources in China^[13-14]

2.2.2 非常规油气资源类型多

非常规油气是指用传统技术无法获得自然工业产量、需用新技术改善储层渗透率或流体黏度等才能经济开采、连续或准连续型聚集的油气资源。目前已经发现的非常规油气资源主要类型有致密油、致密气、页岩油、页岩气、煤层气、重油沥青和天然气水合物等。这些非常规油气资源所占比率非常高,其中油页岩、页岩气和天然气水合物的资源量远远超过常规油气资源,地质资源量分别为6 000亿t、138 万亿m³和80 万亿m³(图12)。

2.3 中国油气资源勘探难度大且成本高

2.3.1 中国剩余的易勘探开发的常规油气资源比率少

目前已评价的全国石油资源^[10]中:深层资源比例最大,约占1/3;海洋资源、非常规资源和老探区

剩余资源约占 1/4。全国天然气资源中，深层资源约占 43%，海洋资源约占 26%，老探区剩余资源约占 28%，非常规天然气资源量是全国常规天然气资源量的 4.5 倍。深层油气资源、海洋油气资源、非常规油气资源和老探区剩余油气资源是未来勘探的重点领域(图 13)。

2.3.2 中国剩余油气资源的品质总体较差

从中国目前剩余油气资源的品质来看，低渗透、特低渗透油资源与重油资源等“低品位”资源所占比例已增至 64%，低渗透、特低渗透天然气约占 52%。根据待发现油气资源丰度估算，石油资源的 61% 和天然气资源的 67% 为中低丰度资源(图 14)。

2.3.3 中国剩余油气资源赋存的地表条件恶劣

中国天然气资源主要分布在鄂尔多斯、四川、塔里木、东海和莺歌海五大盆地；中国石油资源则主要分布在松辽盆地、渤海湾盆地、海拉尔盆地和鄂尔多斯盆地等。从地理条件和环境上看，中国的油气资源主要分布在平原、丘陵、山地、沙漠、黄土坡、高原、戈壁、湖沼、海滩和海域等 10 类不同的地区(图 15)。石油资源在平原分布最多，地质资源量为 298.88 亿 t，占全国总量的 39.05%；其次是浅海和戈壁，地质资源

量分别为 95.02 亿 t 和 94.10 亿 t，分别占全国的 12.42% 和 12.30%；黄土坡、高原和沙漠石油资源较少，地质资源量分别为 75.88 亿 t、69.94 亿 t 和 62.89 亿 t。滩海、山地、深海、丘陵和湖沼的石油资源最少，地质资源量分别为 28.12 亿 t、23.87 亿 t、11.08 亿 t、4.27 亿 t 和 1.04 亿 t，各占全国的 3.68%、3.12%、1.45%、0.56% 和 0.14%。天然气资源量在浅海、沙漠、山地分布最多，地质资源量分别为 6.47 万亿 m³、5.69 万亿 m³ 和 5.64 万亿 m³，共计占全国的 50.81%(图 15)。不难看出，60% 以上的油气资源富集在复杂地表条件之下。相对而言，在平原、高原、黄土坡、戈壁、滩海等地发现的液态石油资源较天然气多；在丘陵、山地、沙漠、海域等地发现的天然气资源较液态石油多。

3 中国油气资源研究取得的重大进展及其与国外水平比较

3.1 中国油气地质理论研究取得重要进展

世界油气勘探理论经历了不断发展的过程。最早的油气勘探理论是 1885 年美国学者 White 提出的背斜

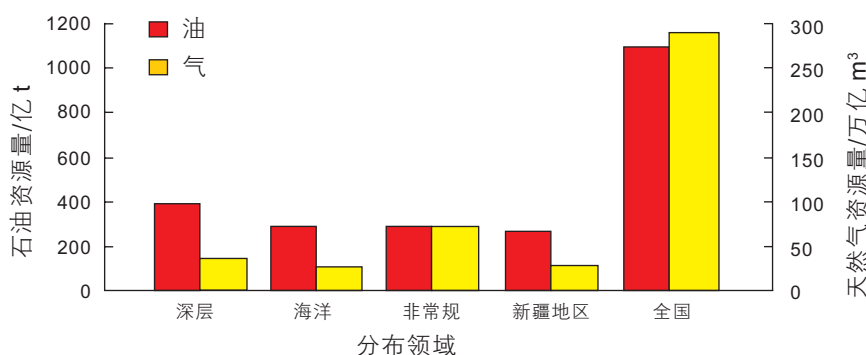


图 13 中国剩余油气资源的分布发育领域与比较

Fig. 13 Distribution and comparison of residual hydrocarbon resources in China

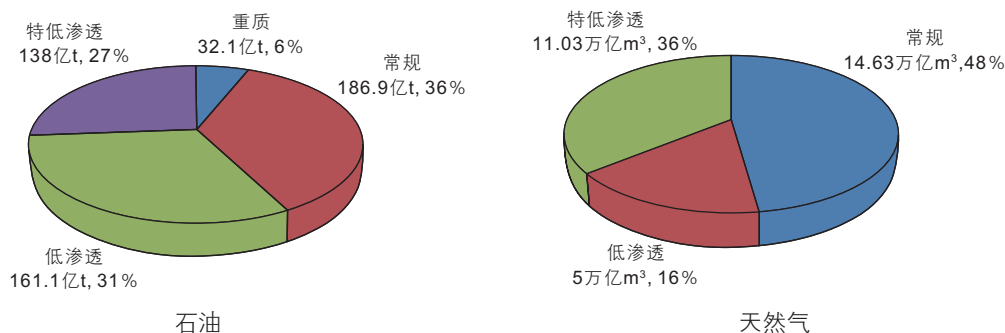


图 14 中国剩余石油与天然气资源量品质分类

Fig. 14 Quality classification of residual oil and natural gas resources in China

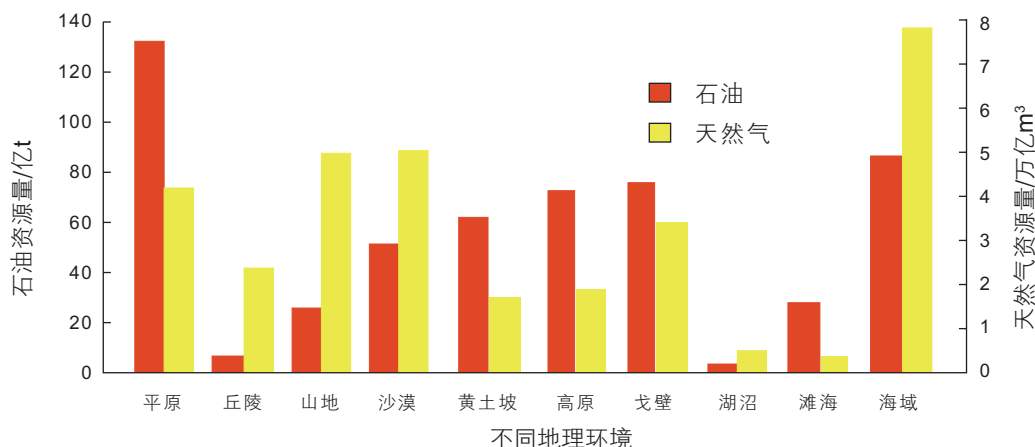


图 15 中国剩余石油与天然气资源在不同地理环境下的分布特征比较^[10]

Fig. 15 Distribution characteristics of residual oil and natural gas resources in different geographical environments in China^[10]

成藏理论^[15], 促进了油气勘探的快速发展。在此基础上发展起来的背斜圈闭找油气方法技术、地层圈闭找油找气方法技术^[16]、岩性圈闭找油气方法技术^[17]以及其他各种形式的圈闭找油气^[18-19]的方法和技术都获得了成功。目前世界上绝大多数常规油气资源都形成和分布在各式各样的圈闭之中, 圈闭成藏和圈闭找油的思想主导着油气勘探理论与油气勘探生产实践。20世纪80年代发展起来的基于沉积盆地内含油气系统找油气理论受到了越来越多人们的关注和重视^[20-23], 拓展了人类勘探油气的思路和方法, 但其核心内涵仍然是圈闭成藏和圈闭找油。随着人类对油气资源需求量增大和油气勘探领域的不断拓展, 人们在含油气盆地深部坳陷区和中心区发现了越来越多的非常规致密油气资源^[23-33], 逐渐认识到非常规油气资源的巨大潜力和富集机理的特殊性, 并开展了大量的研究工作, 得出了一系列的新认识^[12,34-35]。近10多年来, 中国学者在复杂叠合盆地的油气成藏研究中取得重要进展, 建立了多动力—多期次—多要素叠合成藏模式, 较好地解释了中国含油气盆地广泛存在的叠复连续致密油气藏的成因特征与分布规律^[36-38]; 提出了油气门限概念并建立了油气门限组合成藏理论模式^[39-42], 基于不同流体动力场内13个关键地质要素控油气门限统计分析与组合成藏规律研究^[40-42], 利用现代电子技术实现了4类常规油气藏、3类致密非常规油气藏、3类改造类油气藏形成分布与调整改造的定量预测与评价^[43-47]。在油气地质理论发展的过程中, 与之相关的基础地质理论的研究也取得重要进展。自2000年至2013年, 中国学者在板块构造演化、沉积地层形成、同位素、古地磁、大地热流、天然气成因、岩石圈变化等方面

取得了一系列新认识, 这些主要体现在国家自然科学奖励中(表1)。

3.2 中国油气勘探开发技术在4个领域研究取得重要进展

油气勘探行业的特点是资金密集、技术密集, 风险巨大、利润巨大。任何一类油气资源勘探的突破都离不开技术的进步。在常规油气资源勘探阶段, 主要依靠地震、钻井等技术, 非常规油气勘探对地球物理方法技术、油气储层压裂改造技术、油气储运与环境保护技术提出了更高的要求。自2000年至2013年, 中国在油气勘探发展的过程中, 在复杂油气、非常规油气、深层油气和深水油气等勘探开发中取得了一系列进展, 这些进展促进了油气勘探行业的快速发展。表2和表3分别列出了2000—2013年中国油气勘探开发领域获国家技术发明奖项目成果和中国油气资源勘探开发利用10大领先技术。图16是中国在不同油气资源勘探开发领域获得国家科技进步奖的数量统计。结果表明, 中国在复杂油气藏勘探开发方面取得的成果最多, 其次为深层和非常规油气, 在深水油气资源勘探开发中的成果相对较少。

3.3 中国油气勘探开发装备方面取得重大突破

石油勘探与开发进程在很大程度上依赖于技术的进步, 技术的有效实施依赖于石油装备的发展。可以说, 没有装备的革命和进步, 就很难在勘探开发上取得经济成效。近10多年来, 中国由“制造大国”向“制造强国”转变, 取得了一个又一个的可喜成果, 国产石油新装备也在不断进步。中国低渗透油气勘探

表 1 2000—2013 年油气领域获国家自然科学奖励项目

Table 1 National Natural Science Awards projects from 2000 to 2013

年份	项目编号	项目名称	主要完成人	推荐单位	获奖等级
2000	Z-104-2-03	喜马拉雅地区深反射地震和雅鲁藏布江缝合带深部结构和构造研究	赵文津等	国土资源部	二等
2001	Z-104-2-01	中国西南特提斯造山带构造与新生代碰撞变形研究	钟大赉等	中国科学院	二等
2002	Z-104-2-01	全球二叠系—三叠系界线层型研究	殷鸿福等	专家推荐	二等
2004	Z-104-2-03	矿物氧同位素分馏系数的理论计算和实验测定	郑永飞等	中国科学院	二等
2006	Z-104-2-01	岩石剩磁机理与古地磁场	朱日祥等	中国科学院	二等
2007	Z-109-2-01	复杂约束条件气液两相与多相流及传热研究	郭烈锦等	教育部	二等
2008	Z-104-2-02	寒武系和奥陶系全球层型剖面 and 点位(金钉子)及年代地层划分	彭善池等	江苏省	二等
2009	Z-104-2-01	大别山—苏鲁大陆深俯冲及其对华北克拉通的影响	叶凯等	中国科学院	二等
2010	Z-104-2-02	中国天然气成因及鉴别	戴金星等	中石油天然气集团公司	二等
2011	Z-104-2-01	中国东部燕山期花岗岩成因与地球动力学	吴福元等	中国科学院	二等
	Z-104-2-02	华北及邻区深部岩石圈的减薄与增生	徐义刚等	广东省	二等
	Z-104-2-03	青藏高原地体拼合、碰撞造山及隆升机制	杨经绥等	国土资源部	二等
	Z-104-2-04	晚中新世以来青藏高原东北部隆升与环境变化	方小敏	教育部	二等
2012	Z-104-2-02	中亚增生造山作用及其环境效应	肖文交等	中国科学院	二等
2013	Z-104-2-03	华北克拉通早期陆壳形成与演化	翟明国等	中国科学院	二等

表 2 2000—2013 年中国油气勘探开发领域获国家技术发明奖项目成果

Table 2 Petroleum exploration and exploitation projects of National Technological Invention Awards from 2000 to 2013

年份	项目编号	项目名称	主要完成人	推荐单位	获奖等级
2002	J-210-1-01	苏里格大型气田发现及综合勘探技术	王涛等	中国石油天然气集团公司	一等
2002	J-213-1-01	200 万吨/年渣油加氢处理(S-RHT)成套技术开发	韩崇仁等	中国石油化工集团公司	一等
2002	J-210-2-01	胜利油田稠油、超稠油开采新技术	宋万超等	中国石油化工集团公司	二等
2002	J-210-2-05	海上中深层高分辨率地震勘探技术	何汉漪等	中国海洋石油总公司	二等
2002	J-210-2-11	准噶尔盆地石西油田的发现与高效开发	王宜林等	新疆维吾尔自治区	二等
2002	J-210-2-12	委内瑞拉边际油田挖潜技术及应用	沈平等	北京市	二等
2002	J-210-2-13	导向钻井技术研究与应用	苏义脑等	河北省	二等
2002	J-210-2-14	油气田地层特性与钻井液、完井液技术研究	徐同台等	天津市	二等
2002	J-220-2-02	地震勘探数据采集处理系统	刘超颖等	中国石油天然气集团公司	二等
2006	F-210-2-01	浅海海底管线电缆检测与维修装置	何生厚等	中国石油化工集团公司	二等
2007	F-220-2-03	流体输送管网的实时数据采集分析方法和高精度泄漏检测定位技术	张化光等	辽宁省	二等
2008	F-210-2-01	输油管道 α -烯烃系列减阻剂开发及其制备工艺	李国平等	中国石油天然气集团公司	二等
2009	F-210-2-01	近钻头地质导向钻井系统与工业化应用	苏义脑等	中国石油天然气集团公司	二等
2009	F-215-2-03	抗CO ₂ 、H ₂ S腐蚀用3Cr系列油套管及制造工艺技术	张忠铨等	上海市	二等
2009	F-216-2-02	深海极端环境探测与采样装备技术	陈鹰等	中国机械工业联合会	二等
2012	F-303-2-02	水力喷砂射孔与分段压裂联作技术及工业化应用	李根生等	中国石油和化学工业联合会	二等
2012	F-309-2-04	多维精细超光谱遥感成像探测技术	王建宇等	上海市	二等
2013	F-303-2-01	碳酸盐岩油气藏转向酸压技术与工业化应用	周福建等	中国石油天然气集团公司	二等

表3 中国油气资源勘探开发利用10大领先技术

Table 3 Ten advanced technologies of petroleum exploration and exploitation in China

序号	技术名称	技术说明	获奖等级	年份
1	中低丰度岩性地层油气藏勘探技术	已成功指导了岩性地层油气藏的大规模勘探和技术的工业化应用,在松辽深层、鄂尔多斯西峰、四川川中、塔里木、准噶尔西北缘等地区发现了多个亿吨级油气田。2004—2006年,共探明中低丰度岩性地层油气藏石油储量10.7亿t、天然气储量5 633.2亿m ³ ,经济与社会效益显著	国家科技进步一等奖	2007
2	海相深层碳酸盐岩天然气勘探技术	形成了“多元生烃”“三元控储”“复合控藏”系列海相油气勘探的新理论,以及复杂山地深层碳酸盐岩储层预测技术,快速、高效、安全地探明了中国海相领域最大气田、位于川东北地区的普光气田,并在川东北地区发现了多个大型含气构造	国家科技进步一等奖	2006
3	特大型超深高含硫气田安全高效开发技术	形成了高含硫气田安全高效开发的五项创新技术,建成了中国首个百亿m ³ 级的特大型高含硫气田和世界第2大高含硫气田和世界第2大高含硫天然气净化厂	国家科技进步特等奖	2012
4	陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成机制与勘探技术	系统研究了陆相断陷盆地隐蔽油气藏的形成机制;实现了对不同砂体和隐蔽油气藏由“定性预测”向“定量评价”的跨越;形成了针对不同隐蔽油气藏类型的高效实用的4套勘探技术系列,并使隐蔽油气藏理论和勘探技术迅速产业化,推广应用效果显著	国家科技进步一等奖	2004
5	山地超高压气藏勘探技术	形成了复杂山地、高陡构造及低信噪比的地震勘探技术和高陡复杂构造地质建模及圈闭描述技术,解决了塔里木盆地库车地区因地表地形起伏剧烈、表层岩性多变、地下逆冲断层发育而引起的一系列复杂的山地油气勘探难题	国家科技进步一等奖	2001
6	复杂油气田规模高效开发关键技术	揭示了以微裂缝为主要渗流通道的层状碳酸盐岩储层成因机理,使酸盐岩油气田采收率提高13%以上;揭示了超重油降压开采机理,使超重油冷采采收率提高2.6%;创新了大型高凝油油藏直井与水平井相结合的控温无伤害注水开发技术,使砂岩老油田采收率提高5.6%	国家科技进步一等奖	2011
7	大庆油田高含水期聚合物驱油开发技术	本项技术应用前景十分广阔,创建的高含水期聚合物驱油开发技术,抢占了国内外同行业技术制高点。应用这一技术,大庆油田可增加可采储量1.24亿t以上,将继续支撑4 000万t持续稳产。本技术成果已在国内6个油田推广应用	国家科技进步特等奖	2010
8	中深层稠油热采大幅度提高采收率技术	中深层稠油大幅度提高采收率技术是方向性、革命性的技术,它的攻关研究并成功工业化应用于现场,引领了世界中深层稠油的开发,极大地提高了中国在世界稠油开发领域的科技竞争力,充分展示了中石油在中深层稠油大幅度提高采收率领域的理论和技术水平	国家科技进步二等奖	2009
9	深海高稳性圆筒型钻探储油平台的关键设计与制造技术	在整体结构设计、制造技术与工艺、全功能集成制造、抗风浪能力设计、动力定位系统设计等方面均获得了国际一流的创新性成果,标志着中国深海钻探成套装备设计制造水平实现重大突破	国家科技进步一等奖	2011
10	水平井钻完井多段压裂增产关键技术	项目打破了国外公司的技术垄断,实现了中国石油工程技术的升级换代,提升了中国石油海外工程技术核心竞争力,为中国石油海外油气业务的快速发展提供了有力的技术支撑	国家科技进步一等奖	2012

开发、老油田提高采收率、管道建设、海洋油气开发能走在世界前列,与中国石油装备技术的进步是分不开的。最为突出的成果是“海洋石油981”深水钻井平台、“12000米钻机”、“3000型压裂车”、“X70、X80、X90、X100级管线钢”、“CGDS-I近钻头地质

导向钻井系统”和“EILog测井系统”等装备的研发成功,表4列出了相关的中国近10年来研发的10大技术装备。它们是中国油气工业发展的新利器,这些“利器”使复杂条件下的油气资源勘探开发成为了可能。

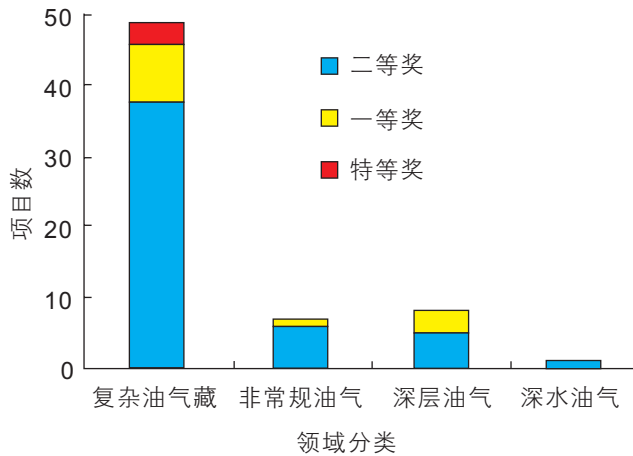


图 16 中国油气勘探开发不同资源领域获国家科技进步奖统计
 Fig. 16 Projects statistic of National Science and Technology Progress Awards in Chinese petroleum exploration and exploitation at different areas

3.4 中国油气勘探开发研究水平与国外先进水平相比还有很大差距

3.4.1 世界油气勘探开发研究目前主要集中在 14 个相关领域

目前全球已进入常规油气稳定上产、非常规油气快速发展阶段，全球油气勘探呈现出“发现热点在深水、发展亮点在非常规、突破难点在深层、争夺焦点在北极”的 4 大趋势，油气勘探主要集中在 14 个相关领域(图 17)。笔者检索了 2000 年以来发表的关于不同油气资源类型的 3 大检索论文，数量总体上呈现持续增长的态势。尤其是自 2008 年以来，在以页岩气为代表的非常规油气勘探开发研究领域发表的学术论文数量快速增长，表明勘探开发的热点正在由常规油气逐渐转向非常规油气。

表 4 中国近十年来在油气资源勘探开发领域研发的十大技术装备

Table 4 10 advanced technological equipment in Chinese petroleum exploration and exploitation in the last 10 years

序号	装备名称	装备说明
1	海洋石油 981 深水半潜式钻井平台	兼具勘探、钻井、完井和修井等作业功能的钻井平台，代表了中国乃至世界海洋石油钻井平台的一流水平。最大作业水深 3 000 m，最大钻井深度可达 1 万 m
2	9000、10000、12000 米超深井钻机	全球技术最先进的特深井陆地钻机，使得油气田超深油气藏的勘探开发钻井水平提高到了一个新的层次。大大地提升中国石油钻井在国际油气勘探市场的竞争力
3	3000 型压裂车	目前国际上最大型号的车载压裂装备。3000 型压裂车的问世，标志着中国压裂装备研发制造水平跻身世界领先行列
4	X 70、X 80、X 90、X100 级管线钢	X70、X80、X90 和 X100 级管线钢的采用，大大缩短了与发达国家的距离，是继高铁之后，又一项能和世界一流水平相媲美的“硬实力”
5	国产地质导向、顶驱装置、PDC 钻头	地质导向钻井技术的研发打破了掌握地质导向核心技术的国家对中国实行的技术垄断，攻破这一世界级技术的“制高点”，使中国地质导向技术和石油装备走向了自主开发之路
6	大型压缩机	大型长输管道电驱压缩机组是天然气长输管道工程的“心脏”。这些大型及特殊用途压缩机的成功研发、制造和应用，表明中国大型压缩机的研制水平已经跻身国际先进行列
7	新型多级分段压裂工具	新型多级分段压裂工具的进步，大大提升了油气勘探开发的最终效果，对于解放大批低渗透油气资源起到了不可或缺的重要作用
8	低密度、超低密度支撑剂	低密度、超低密度支撑剂研制成功，使得压裂工艺大大简化，压裂成本大大降低，压裂效果大大提高，可以从根本上助推低渗透、页岩气、页岩油的开发，不失为石油领域压裂材料革命的“重磅炸弹”
9	EILog 测井系统、慧眼 2000 成像地面数控测井系统	成像效果清晰，可以有效地解决薄层、薄互层、裂缝储层、低孔隙低渗透层、复杂岩性储层评价，高含水油田剩余油分布等问题。此项研制成果达到国际领先水平，获大庆油田公司科技成果一等奖，多项技术为国内首创，部分技术已经达到国际领先水平
10	碳纤维复合材料连续抽油杆	碳纤维复合材料连续抽油杆，具有强度高、模量高、耐高温、抗蠕变和耐疲劳的特性，在高含水油井、深井、超深井和腐蚀井的原油开采领域有广阔的应用前景。可以实现“增产、节电、延长检泵周期、降低采油成本”的目的

3.4.2 中国在14个相关领域的技术水平落后于发达国家
 为了更好地了解中国目前在上述油气资源领域相关技术水平与世界发达国家的差距，笔者除了检索中国在相关领域发表论文情况外，还根据目前剩余油气资源特征及类型，建立了相应的调查问卷，问卷分15个领域(图18)，每一个领域问卷信息主要包括4个方面：中国当前技术的水平、当前技术对中国的重要

性、未来技术在中国的发展潜力以及各种技术在中国应用的重点领域。该项调查共发出问卷429份，收回398份。发放问卷的对象包括从事相关研究的大学教师、博士研究生、油田研究院高级工程师、相关专业技术公司的技术负责人等。

通过对调查问卷的统计发现，中国在15个油气资源领域的勘探开发技术水平与国际先进水平差距较

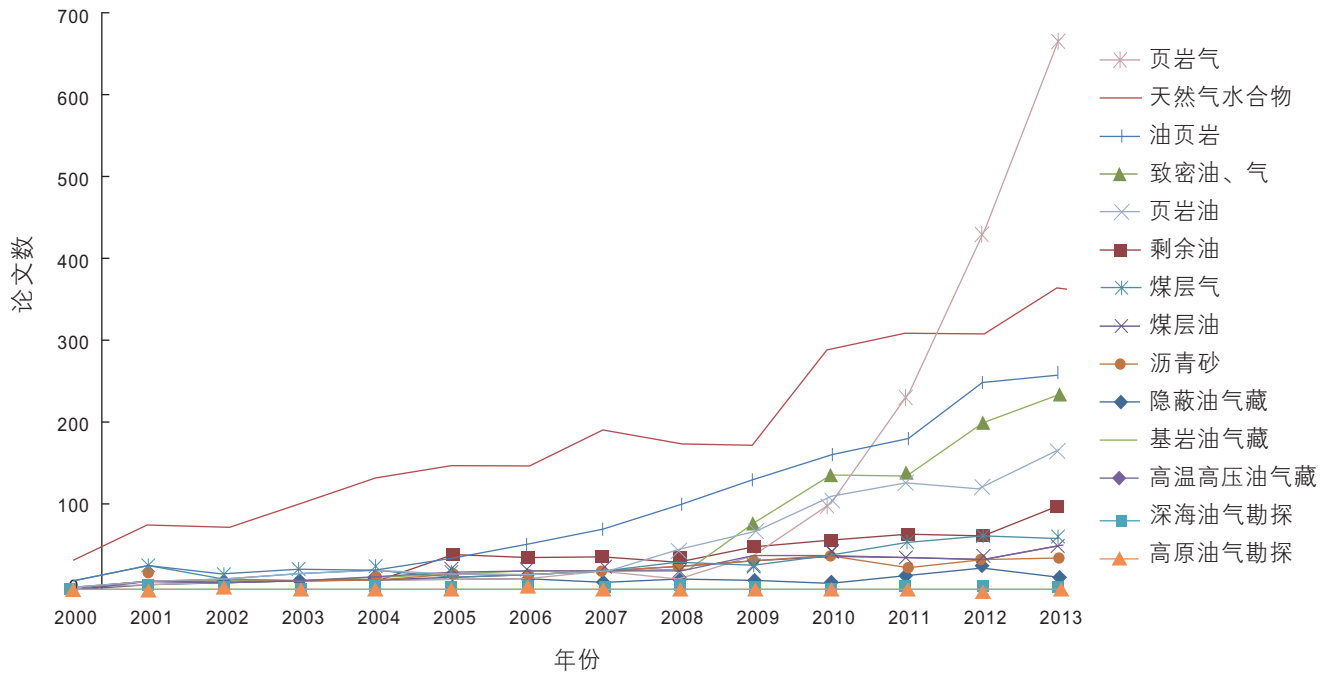


图 17 2000—2013 年间世界不同油气资源领域发表 3 大检索论文统计

Fig. 17 Different petroleum fields papers published on three retrieval systems from 2000 to 2013

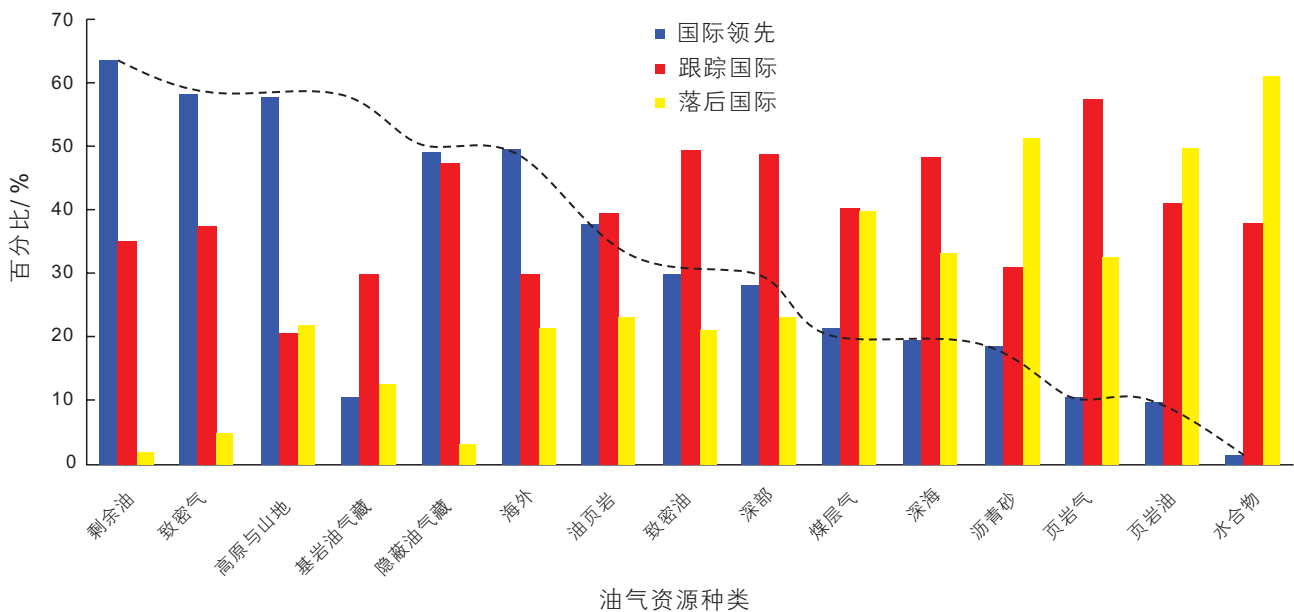


图 18 中国当前重点领域油气资源勘探开发利用技术水平现状问卷调查统计结果

Fig. 18 Questionnaire results of Chinese petroleum exploration and exploitation level in current key fields

大。在剩余油、致密气、高原与山地油气和基岩油气藏等领域的研究水平,中国有50%以上达到国际领先;在页岩气、页岩油领域的技术属国际领先的很少,比率不超过10%,在天然气水合物研究领域的技术仅有约1%达到国际领先。在沥青砂和页岩油研究领域,总体上有50%以上的技术落后于国际先进水平。在15个领域中,能够跟踪国际先进水平的约占20%~60%。深海油气、页岩油气、沥青砂、水合物等领域的油气资源勘探开发技术与国际先进技术差距最大(图18)。这些结果与3大检索系统论文统计分析结果雷同,基本上反映了中国油气资源勘探开发技术水平的现状。

4 中国油气资源研究面临的挑战与未来发展方向

4.1 在利用国外油气资源的同时要加强国内油气资源研究

4.1.1 中国每年进口油气量不断增长,补充了中国油气资源的不足

1993年,中国的原油进口量首次超过了出口量,成为原油净进口国。此后,随着经济的增长,中国的原油消费量持续性增长,原油净进口量则几乎呈直线上升。2003年,中国原油净进口量攀升至9 113万t,从而使中国成为仅次于美国,位居世界第二、亚洲第一的石油消费大国。2009年,中国原油的进口量首次超过国内生产量,到2015年石油净进口3.28亿t(图19),原油进口主要来自于沙特、安哥拉、俄罗斯和阿曼等国家和地区。

4.1.2 中国每年进口权益油气量也在不断增长,缓解了中国油气短缺的压力

为了确保国内石油供应稳定和油源更加多元化,中国3大国有石油企业开始实施“走出去”的发展战略,积极参与海外资源的油气开发,通过投资参与海外油田建设等方式,获取当地稳定的“权益油”^[48]。2015年,中国石油企业海外油气权益产量估计为1.5亿t油当量,同比增长6%(图19a)。其中中石油、中石化和中海油权益产量分别为7 300万t、4 000万t和2 350万t油当量^[49]。尽管与欧美石油巨头相比,中国公司在海外获得的权益油大多分布在经济相对落后、需要投资,或者是资源条件比较差、需要中国技术的地区;但海外权益油的产量无疑在很大程度上缓解了中国国内油气短缺的压力。

4.1.3 中国国内油气资源勘探每年发现储量总体增长较为缓慢,需要加大勘探开发力度

2015年全球石油产量达到39亿t,全球石油剩余探明储量(以下简称“石油储量”)增长了0.5%,达到2 268.4亿t,储采比为60:1;全球天然气剩余探明储量(以下简称“天然气储量”)增长了0.3%,达到197.1万亿m³,储采比为58:1。中国油气储量也在稳步增长,石油储量增长1.1%,为33.8亿t,仍排名第14位,储采比为16:1;天然气储量增长5.5%,达到4.6万亿m³,由2014年的第11位上升至第10位,储采比为36:1^[4]。尽管从目前储量增长趋势看,比世界平均水平高,但是油气的储采比与世界平均水平还要低得多。从产量变化来看,中国在1990年以来表现为持续上涨的势头(图19)。考虑到中国的储量增长缓慢和产量增长较快等因素,中国的油气储产比处于不断下降之中。油气是一种战略资源,在充分利用国外资源的同时,要加大本国油气资源的勘探力度,力争使现有的储产比有一个较大的提高。作为一个大国,保障油气资源供给稳定和安全应当成为一种必须的战略选择。

4.2 在开展重点基础研究和重大专项研究的同时要加强关键技术研发

4.2.1 国家自然科学基金和“973”项目的投入逐年增长,促进了油气资源理论研究的深入

实际上油气勘探行业的快速发展,得益于科技的不断进步,尤其是基础研究和理论认识上的突破。近10多年来,中国在油气行业投入的经费持续增加,比较有代表性的就是国家自然科学基金和国家重点基础研究规划“973”项目。2000年以来,油气勘探开发领域自然科学基金资助项目数量和经费均逐年递增(图20),总项目数为337、投入经费高达1亿4 840万元。2000—2007年,油气领域的国家“973”项目数量和经费也有逐年递增的趋势,共立项27个、经费3亿8 231万元。2008年以来,“973”经费资助的油气项目数为12,经费高达1亿8 579万元(图20)。

4.2.2 国家重大专项研究在油气资源领域投入资金巨大,促进了勘探生产的快速发展

国家重大科技专项是为了实现国家目标,通过核心技术突破和资源集成,在一定时限内完成的重大战略任务、关键共性技术和重大工程,是中国科技发展的重中之重。自2006年设立油气重大专项以来,在油气领域投入的资金量巨大,取得的科技成果丰硕,在很大程度上促进了勘探生产的发展。2008年以来,中

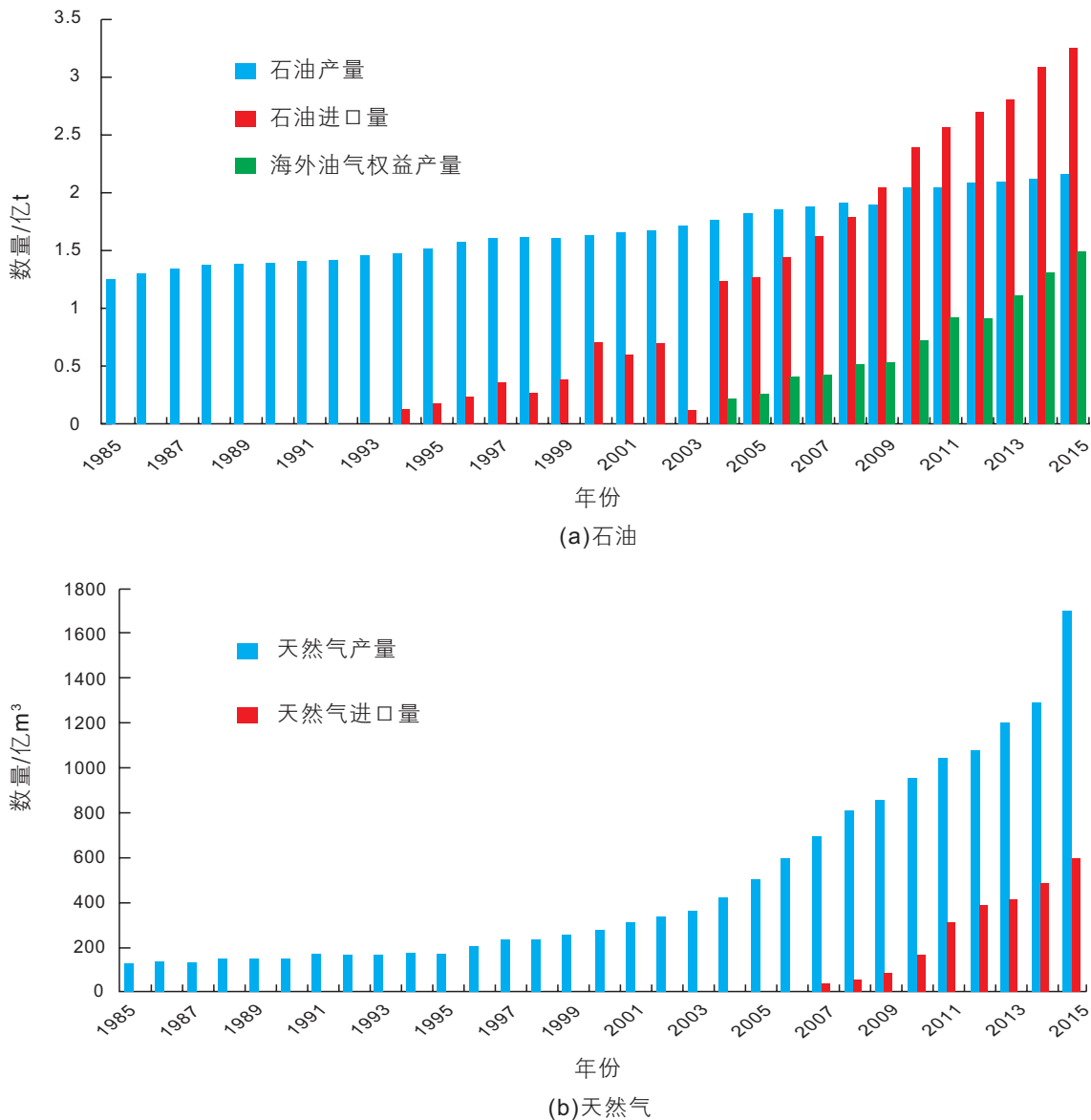


图 19 中国石油与天然气产量、权益产量、进口量历年柱状图

Fig. 19 Oil and gas output, rights output and imports over the calendar years in China

国能源与环境领域国家攻关项目呈现快速增长趋势，到 2011 年达到最高值，之后呈现递减趋势，到 2013 年累计设立课题 889 项，投入经费 274.3 亿元(图 20)。

4.2.3 中国油气资源领域国家投入的技术研发资金严重不足且时断时续，不能满足现实需求

科技创新的过程实际上是逐渐递进的过程，从理论创新、到方法与技术研发、再到集成应用是一个完整的产业链，任何一个环节都不能缺少。从目前世界科技发展趋势来看，国家技术研发应该以自主创新为主，其过程可以分为“引进集成创新、完善改进创新、自主研发创新”3 个阶段。中国目前科学研究中的国家自然科学基金和“973”项目主要鼓励理论与认

识创新，“863”项目主要是鼓励技术创新，国家重大专项主要在于集成创新与大规模的工业化应用。这种高层设计有利于推动中国科技创新与产业化发展。在油气勘探开发领域的科技研究中，中国在 2000—2005 年(“十五”)、2006—2010 年(“十一五”)、2011—2015 年(“十二五”)的 3 个 5 年规划内，理论创新研究(自然科学基金和“973”项目)、技术创新研发(“863”项目)和规模化集成应用(专项)所投入经费差异巨大且不成比率，三者之间没有做到有机连接(图 20)。“十五”期间，基础研究经费投入比率高达 100%，其他经费为 0；“十一五”期间，基础研究经费比例为 3.61%，技术创新研究经费为 6.29%，集成应用研究的

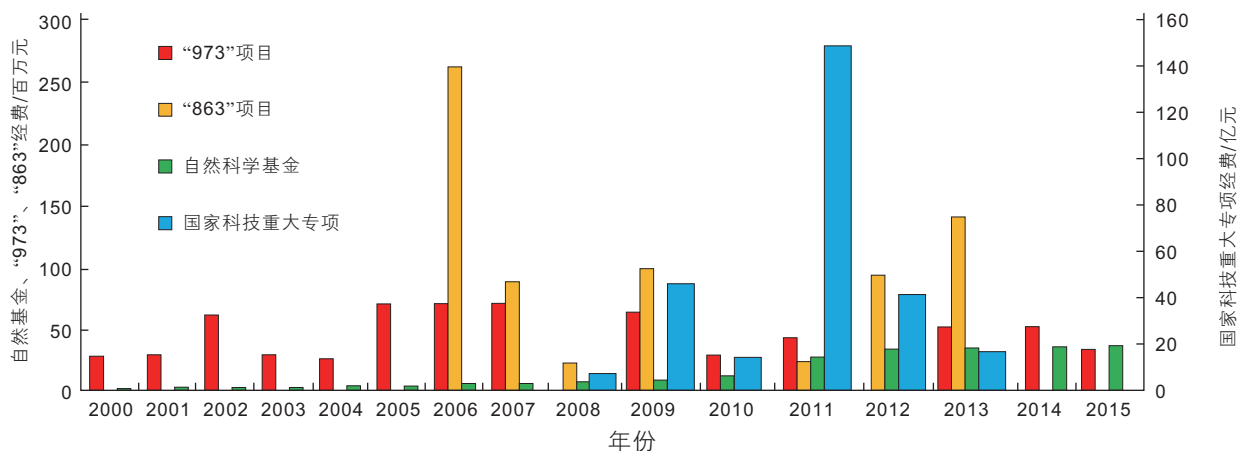


图 20 中国各类科技项目在油气领域投入经费柱状图

Fig. 20 Funds invested on petroleum by technological projects in China

专项经费达 90.1%；“十二五”期间，基础研究经费比例为 1.62%，创新研究经费比例为 1.2%，应用研究的专项经费上升比例为 97.18%。国家在科技研究上的投入体现了国家意志和目标导向，目前在油气勘探开发领域存在的主要问题是弱化了理论创新和技术创新，更多的经费流入了集成创新与工业化规模应用，这样不利于产业的长远发展。

4.3 在鼓励新能源和可再生能源研究的同时要加强四个关键领域攻关研究

4.3.1 第 1 个领域是中国非常规油气资源绿色高效开发利用

从世界油气勘探的发展趋势看，正在由常规转向非常规^[50-52]。中国的非常规油气资源的发展潜力也大于常规油气资源，二者的比率约为 4:1。在中国的非常规油气构成中，致密油气、页岩油气、油页岩、油砂、天然气水合物和煤层气等都具备较大的资源潜力。就中国盆地地质条件而言，致密油气应该是未来最现实的资源接替领域。2006 年 Williston 盆地 Elm Coulee 油田 Bakken 组致密油突破 7 950 m³/d，极大地提振了致密油勘探开发的信心，吸引了大量投资。2010 年美国致密油产量突破 3 000 万 t，使美国持续 24 年的石油产量下降趋势首次得以扭转。中国致密油勘探起步晚，近 2 年致密油的概念得到了广泛接受和采用。实际上，致密油资源在中国主要盆地广泛分布，在鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 6—长 7 段、准噶尔盆地二叠系芦草沟组、四川盆地中—下侏罗统，以及松辽盆地白垩系青山口组—泉头组，都发育丰富的致密油资源。初步评价结果，中国主要盆地致密油地质资源总量为 (106.7~111.5) 亿 t。鄂尔多斯、准噶尔、松辽、渤

海湾和四川等盆地的致密油资源丰富，是未来勘探的重点^[53-54]。

中国致密砂岩气分布范围广，有利区面积为 32 万 km²，已成为重要的增储上产领域。目前已形成鄂尔多斯盆地上古生界与四川盆地上三叠统须家河组两大致密气现实区^[55-56]，松辽盆地白垩统登娄库组、渤海湾盆地古近系沙河街组沙三段和沙四段、吐哈盆地侏罗系、塔里木盆地侏罗系和白垩系、准噶尔盆地南缘侏罗系和二叠系五个致密气潜力区。近 10 年年均新增探明储量 2 877 亿 m³，约占 50%，产量保持持续增长态势，2014 年产量近 340 亿 m³，占全国天然气产量的 28% (图 21)。笔者采用类比法初步评价了中国致密气资源潜力，认为致密气地质资源量为 17.4 万亿~25.1 万亿 m³，可采资源量为 8.8 万亿~12.1 万亿 m³^[53]。

4.3.2 第 2 个领域是中国深层油气安全高效勘探开发

深层油气资源的勘探开发越来越受到世界各国的重视，中国近 10 年来西部盆地油气储量增长速度最快，其中约 90% 来自埋深超过 4 500 m 的目的层。中国深层油气资源丰富，陆上 39% 的剩余石油资源和 57% 的剩余天然气资源分布在深层。另外，深层油气资源的探明率较低，分别仅为 12% 和 6.3%，发展前景广阔。加强深部油气勘探开发投入力度，对促进中国油气增储上产具有长远的意义。以塔里木盆地为例，自 2001 年以来，塔里木盆地发现油气三级地质储累计达到 62 亿 t，其中探明储量近 10 亿 t，储层埋藏深度普遍超过 4 500 m，展现了深层巨大的资源潜力 (图 22)。

深层油气勘探开发的核心是针对高温高压的深部油气藏如何有效预测油气的分布及相态变异，并如何

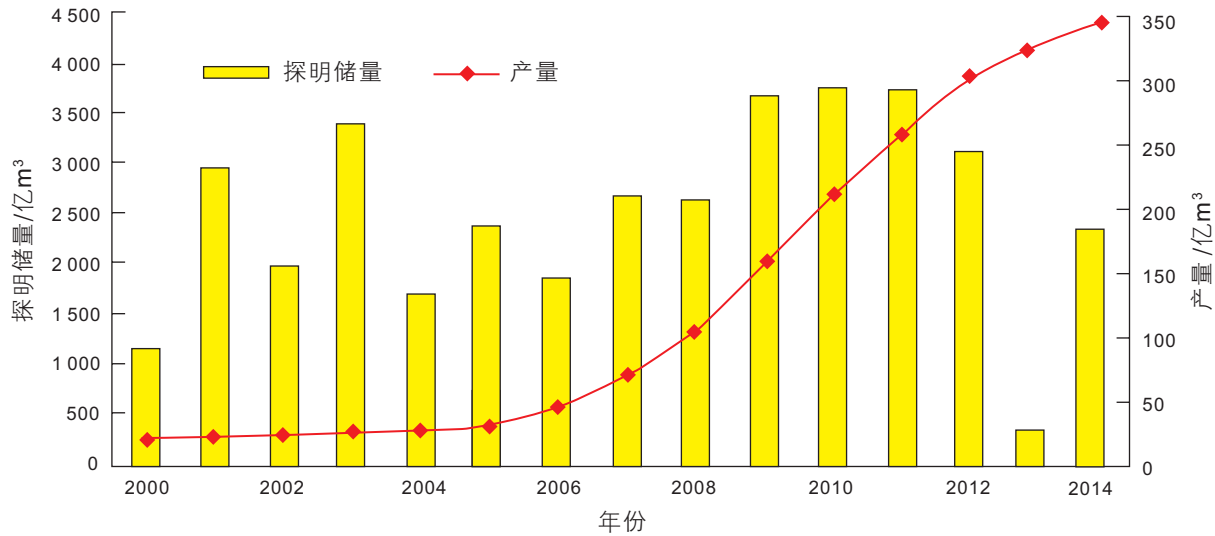


图 21 中国致密气探明储量和产量历年变化图

Fig. 21 Proved reserves and output of tight gas over the calendar years in China

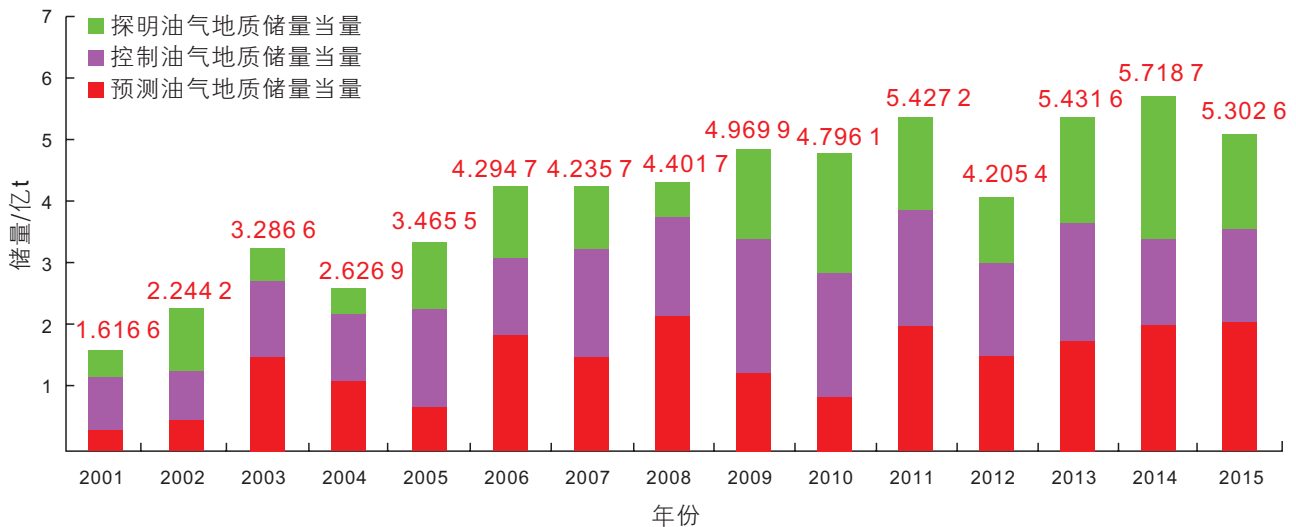


图 22 中国塔里木盆地三级地质储量历年变化图

Fig. 22 Variation of third grade geological reserves of Chinese Tarim Basin over the calendar years

实现深井超深井的安全高效勘探开发。国内外虽已研发相应的方法、技术和装备,但应用效果不好,制约了深层油气勘探开发。因此,应加速深层油气藏高分辨率勘探和安全开发技术与装备的研究。关键是深层地震速度建模与成像技术、深层高温高压油气分布与相态变异预测技术、深井超深井安全高效钻井新技术及新材料新装备的研发,为今后深层油气藏的高效勘探开发做好必要的技术准备。

4.3.3 第3个领域是中国海洋深水油气资源安全高效勘探开发与利用

近10年来,全球新发现的油气田有60%在海上,全球油气开发有50%以上也在海上。预计未来

全球油气总储量的40%将来自超过400 m以上的深海区。中国有4个主要海上油气产区:渤海湾、南海西部、南海东部和东海,海上油气产量正在逐年不断增长(图23)。其中,南海不仅是中国深海油气主要开发区域,也有望成为全球第4大潜在开发深水区。整个南海盆地石油资源量在707亿t,天然气总资源量约为58万亿m³,占中国油气总资源量的1/3,其中70%蕴藏于153.7万km²的深海区域^[57]。南海与8个周边国家毗邻,一些国家在本属中国的海域与西方石油公司合作,已经发现了100多个油气田,每年的开采量达5000万t,天然气每年被采出300亿m³,是西气东输量的2倍^[58-59];但是南海深水环境恶劣,风浪很大,

海底沙波不断移动，导致施工难度大、勘探成本高，还需应对复杂的国际环境。因此，如何高效勘探开发利用深水油气资源，研发先进的勘探技术和装备将是未来重要的研究课题。

4.3.4 第4个领域是中国老油气区剩余隐蔽油气资源的精细勘探开发与利用

中国老油气区剩余油气资源潜力较大，目前已开发油田的采收率一般不到40%，大量的剩余油因油藏

非均质性和品质低而滞留于地下难以开采。从目前产量来看，中国石油产量的70%仍来自老油田，其剩余可采储量依然相当可观^[60]。与此同时，老油田经过几十年的开发，总体已进入“双高”（高采出程度、高含水）开发阶段。若按中国现有探明储量估算，每提高1%采收率，相当于寻找到一个数亿吨级探明储量的新油田。从这个角度来看，对老区剩余油气资源的精细勘探开发意义重大。正因为如此，近年来发表的关于

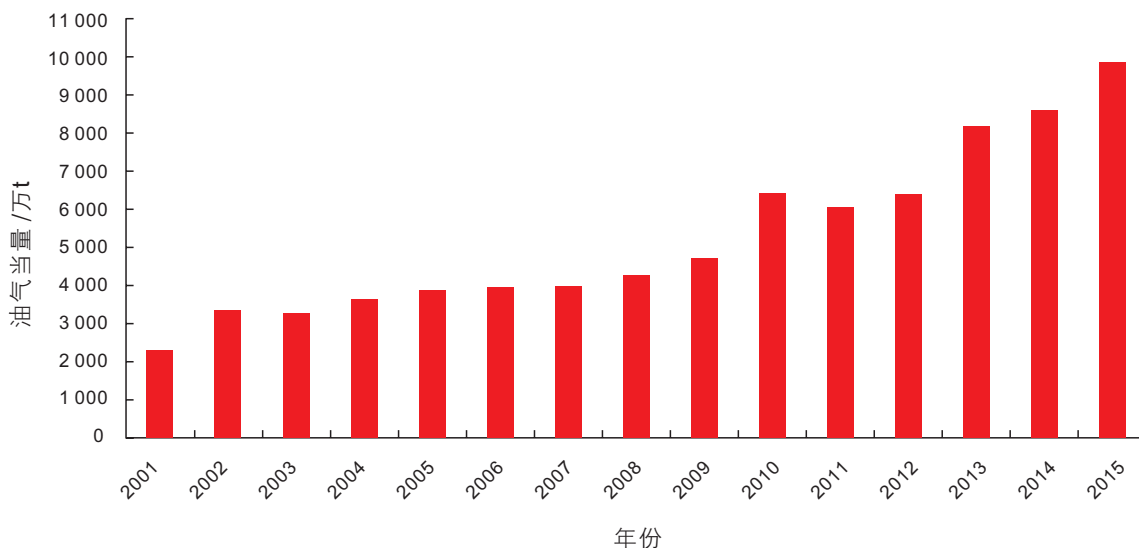


图 23 中国海洋石油总公司历年来油气产量变化特征

Fig. 23 Variation characteristics of petroleum output of CNOOC over the calendar years

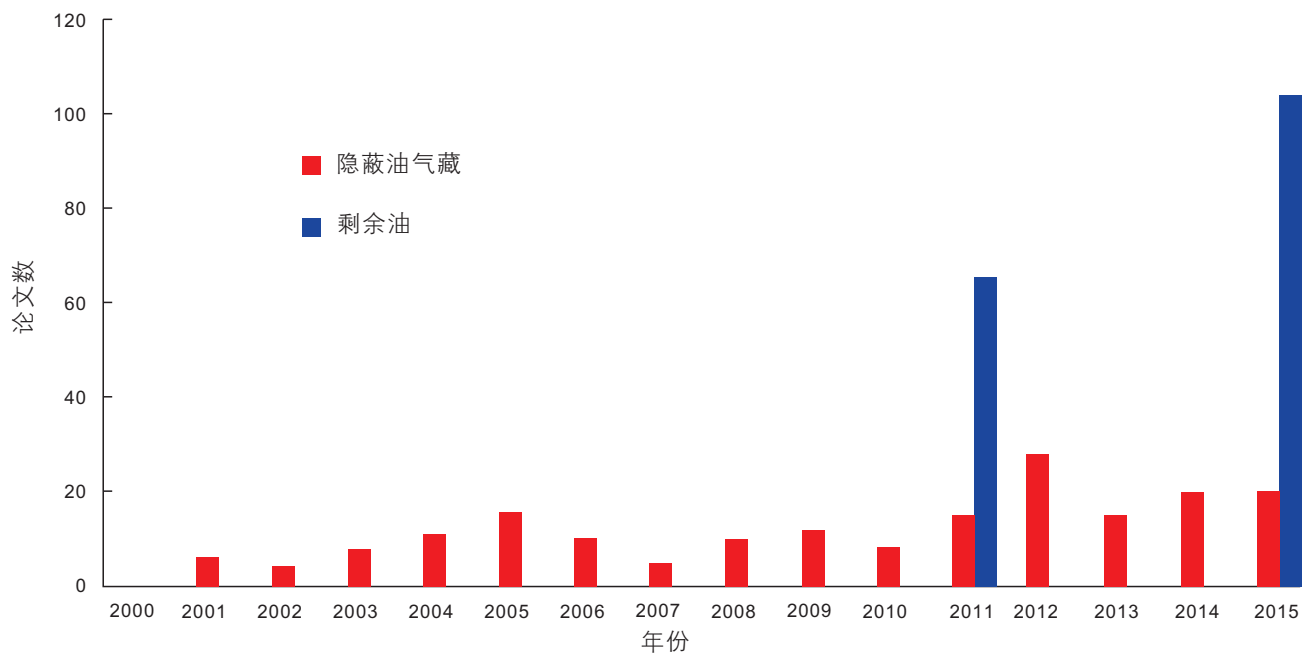


图 24 中国老油气区剩余油气资源挖潜勘探开发研究历年发表 3 大检索文章统计

Fig. 24 Papers about the exploration and exploitation of remaining oil and gas in Chinese old oil region published in three retrieval systems over the calendar years

剩余油气资源的文章在不断增加(图 24)。老油气区基本都是陆相沉积, 剩余油的分布预测受到砂体规模小、厚度薄、断层发育、非均质性强等一系列因素的影响; 因此, 有必要在未来勘探中, 注重发展油藏精细表征与建模技术、剩余油分布预测技术、复杂结构井钻探和提高采收率技术等。

5 结论

(1) 中国油气资源将长期处于短缺状态, 大力加强国内油气资源勘探开发有利于保障国家安全与社会稳定, 减少污染和提高人民生活水平。

(2) 中国油气资源丰富但地质条件十分复杂, 表现在油气资源分布高度不均、非常规油气资源比率高且种类多、油气资源品质较差、剩余油气赋存条件恶劣, 勘探难度大且成本高。

(3) 中国油气资源勘探开发研究取得了重大进展, 但仍与国外先进水平有较大差距。中国在油气勘探开

发领域, 处于领先水平的技术所占比率不超过 30%, 60% 以上处于跟踪状态。

(4) 中国油气资源研究面临 3 方面问题: 一是国内资源开发难度大, 每年储量净增长速度缓慢, 储产比特别低; 二是国家投入油气资源关键技术研发经费少且变化性大; 三是非常规、深层、深海等新领域资源丰富, 目前储量增长势头良好但面临系列科学技术难题。

(5) 中国油气资源研究需要加强 3 方面工作: 一要持续深化复杂油气资源成因机制与分布规律的研究; 二要增加油气资源勘探开发关键技术的研发力度; 三要集中力量解决好非常规油气资源、深层油气资源、深海油气资源和老区剩余油气资源在勘探开发中面临的突出问题。

致谢

本文图 21 中的部分数据引自中石油勘探开发研究院邹才能教授 2014 年 5 月 17 日在中国石油大学(北京)所做的学术报告, 在此表示诚挚的感谢!

参考文献

- [1] 国土资源部. 2015 年中国主要矿产新增储量数据[EB/OL]. [2016-05-08]. <http://www.cinic.org.cn:8080/site951/bwdt/2016-04-12/818049.shtml>. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. The new data of China's main mineral reserves in 2015[EB/OL]. [2016-05-08]. <http://www.cinic.org.cn:8080/site951/bwdt/2016-04-12/818049.shtml>.]
- [2] 国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [National Bureau of Statistic of the People's Republic of China. China energy statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [3] 武旭, 郭焦锋, 洪涛. 中国天然气消费量 2020 年达 4 千亿立方米[N]. 中国经济时报, 2015. 08. 24(005). [WU X, GUO J F, HONG T. China's natural gas consumption will up to 400 billion cubic meters in 2020[N]. China Economic Times, August 24th, 2015(005).]
- [4] 中国石油集团经济技术研究院. 2015 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 中国石油集团经济技术研究院, 2016. [CNPC Economics & Technology Research Institute. The development report of oil and gas industry both at home and abroad in 2015[M]. Beijing: CNPC Economics & Technology Research Institute, 2016.]
- [5] BP. World energy statistical yearbook[EB/OL]. [2016-05-08]. http://www.bp.com/content/dam/bp-country/zh_cn/Publications/2015SR/Statistical%20Review%20of%20World%20Energy%202015%20CN%20Final%2020150617.pdf.
- [6] OPEC. The world oil outlook in 2012[EB/OL]. [2016-05-08]. http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO_2013.pdf.
- [7] IEA. World energy outlook 2013[EB/OL]. [2016-05-08]. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Executive_Summary_Chinese.pdf.
- [8] BP. 2035 world energy outlook[EB/OL]. [2016-05-08]. <http://wenku.baidu.com/view/a71bbb6e4431b90d6c85c785.html>.
- [9] 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究: 综合卷[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Strategy Research Group of China Energy Mid-Term and Long-Term Development. Strategy research of China energy mid-term and long-term(2030, 2050) development: comprehensive volume[M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [10] 国土资源部油气资源战略研究中心, 等. 全国石油天然气资源评价[M]. 北京: 中国大地出版社, 2011. [Research Center of Oil and Gas Strategy, Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Evaluation of national oil and gas resources[M]. Beijing: China Land Press, 2011.]
- [11] 赵文智, 窦立荣. 中国陆上剩余油气资源潜力及其分布和勘探对策[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 1-5. [ZHAO W Z, DOU L R. Potential, distribution and exploration strategy of residual petroleum onshore in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 1-5.]
- [12] 庞雄奇, 姜振学, 黄捍东, 等. 叠复连续油气藏成因机制、发育模式及分布预测[J]. 石油学报, 2014, 35(5): 795-828. [PANG X Q,

- JIANG Z X, HUANG H D, et al. Formation mechanisms, distribution models and prediction of superimposed, continuous hydrocarbon reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35(5): 795-828.]
- [13] 李玉喜, 张金川. 我国非常规油气资源类型和潜力国际[J]. *国际石油经济*, 2011, 3: 61-67. [LI Y X, ZHANG J C. Types of unconventional oil and gas resources in China and their development potential[J]. *International Petroleum Economics*, 2011, 3: 61-67.]
- [14] 龚晓峰, 何家雄, 吴从康, 等. 中国非常规天然气资源的基本地质地球化学特征及特点[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(5): 95-105. [GONG X F, HE J X, WU C K, et al. Basic geological and geochemical background of unconventional gas resources in China[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(5): 95-105.]
- [15] WHITE I C. The geology of natural gas[J]. *Science*, 1885, 5(125): 521-522.
- [16] LEVORSEN A I. Stratigraphic versus structural accumulation [J]. *AAPG Bulletin*, 1936, 20 (5): 521-530.
- [17] LEVORSEN A I. *Geology of Petroleum*(1st edition)[M]. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1956.
- [18] MCCOLLOUGH E H. Structural influence on the accumulation of petroleum in California: Part IV. Relations of petroleum accumulation to structure. //Problems of petroleum geology[M]. Tulsa, AAPG, 1934.
- [19] LEVORSEN A I. *Geology of petroleum*(2nd edition)[M]. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1967.
- [20] MAGOON L B. *Petroleum systems of the United States*[M]. US Geological Survey Bulletin, 1988.
- [21] MAGOON L B. The petroleum system: status of research and methods[J]. *US Geological Survey Bulletin*, 1992, 14(2): 98.
- [22] MAGOON L B, DOW W G. The petroleum system from source to trap[J]. *AAPG Memoir*, 1994, 60: 3-23.
- [23] PERRODON A. Petroleum systems: models and applications[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1992, 15(3): 319-326.
- [24] JIANG F J, PANG X Q, YU S, HU T, BAI J, HAN G M, LI B Y. Charging history of Paleogene deep gas in the Qibei sag, Bohai Bay Basin, China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2015, 67: 617-634.
- [25] MASTERS J A. Deep basin gas trap, Western Canada[J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(2): 152-181.
- [26] MASTERS J A. Lower Cretaceous oil and gas in Western Canada //M 38: Elsworth: case study of a deep basin gas field[M]. Tulsa, AAPG Memoir, 1984.
- [27] ROSE P R, et al. Possible basin centered gas accumulation, Raton basin, Southern Colorado[J]. *Oil & Gas Journal*, 1984, 82: 190-197.
- [28] LAW B E, DICKINSON W W. Conceptual model for origin of abnormally pressured gas accumulation in low-permeability reservoirs[J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69(8): 1295-1304.
- [29] LAW B E. Basin-centered gas systems[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1891-1919.
- [30] SPENCER C W, MAST R F. Geology of tight gas reservoirs (AAPG Study in Geology, no. 24)[M]. Tulsa: AAPG, 1986.
- [31] SPENCER C W. Review of characteristics of low-permeability gas reservoirs in western Unites States[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(5): 613-629.
- [32] SCHMOKER J W, FOUCH T D, CHARPENTIER R R. Gas in the Uinta Basin, Utah-Resources in continuous accumulations[J]. *Mountain Geologist*, 1996, 33(4): 95-104.
- [33] SCHMOKER J W. Resource-assessment perspectives for unconventional gas systems[J]. *AAPG bulletin*, 2002, 86(11): 1993.
- [34] 庞雄奇, 周新源, 董月霞, 等. 含油气盆地致密砂岩类油气藏成因机制与资源潜力[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(5): 28-37. [PANG X Q, ZHOU X Y, DONG Y X, et al. Formation mechanism classification of tight sand stone hydrocarbon reservoirs in petroliferous basin and resources appraisal[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Sciences)*, 2013, 37(5): 28-37.]
- [35] 庞雄奇, 金之钧, 姜振学, 等. 深盆地气藏门限及其物理模拟实验[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(3): 207-214. [PANG X Q, JIN Z J, JIANG Z X, et al. Critical conditions for gas accumulation in the deep basin trap and physical modeling[J]. *Natural Gas Science*, 2003, 14(3): 207-214.]
- [36] 姜福杰, 庞雄奇, 姜振学, 等. 致密砂岩气藏成藏过程的物理模拟实验[J]. *地质论评*, 2007, 53(6): 844-849. [JIANG F J, PANG X Q, JIANG Z X, et al. Physical simulation experiment of gas charging in tight sand stone[J]. *Geological Review*, 2007, 53(6): 844-849.]
- [37] 姜福杰, 庞雄奇, 武丽. 致密砂岩气藏成藏过程中的地质门限及其控气机理[J]. *石油学报*, 2010, 31(1): 49-54. [JIANG F J, PANG X Q, WU L. Geologic thresholds and its gas-controlling function during forming process of tight sand stone gas reservoir[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(1): 49-54.]
- [38] 庞雄奇, 黄捍东, 林畅松, 等. 哈萨克斯坦Marsel探区叠复连续气田形成、分布与探测及资源储量评价[J]. *石油学报*, 2014, 35(6): 1012-1056. [PANG X Q, HUANG H D, LIN C S, et al. Formation, distribution, exploration, and resources/ reserve assessment of superimposed continuous gas field in Marsel exploration area, Kazakhstan[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014, 35(6): 1012-1056.]
- [39] 庞雄奇. 油气运聚门限与资源潜力评价[M]. 北京: 科学出版社, 2014. [PANG X Q. The threshold for oil-gas migration and resource potential evaluation[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [40] 庞雄奇. 油气分布门限与成藏区带预测[M]. 北京: 科学出版社, 2014. [PANG X Q. The threshold for oil-gas distribution and prediction of favorable hydrocarbon accumulation zones[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [41] 庞雄奇, 周新源, 姜振学, 等. 叠合盆地油气藏形成、演化与预测评价[J]. *地质学报*, 2012, 86(1): 1-103. [PANG X Q, ZHOU X Y,

- JIANG Z X, et al. Hydrocarbon reservoirs formation, evolution, prediction and evaluation in superimposed basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(1): 1-103.]
- [42] 庞雄奇, 黄捍东, 林畅松, 等. 叠复连续油气藏成因机制与预测方法及实际应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014. [PANG X Q, HUANG H D, LIN C S, et al. Formation mechanism, prediction method and actual application for superimposed continuous reservoirs[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [43] 庞雄奇. 油气富集门限与勘探目标优选[M]. 北京: 科学出版社, 2014. [PANG X Q. The threshold for oil-gas enrichment and optimization exploration target[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [44] 庞雄奇. 油气藏调整改造与构造破坏烃量模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2014. [PANG X Q. Renovation and structure damage to hydrocarbon reservoir and adjustment quantity simulation[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [45] JIANG F J, PANG X Q. Quantitative analysis model and application of the hydrocarbon distribution threshold[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. 2013, 87(1): 232-242.
- [46] JIANG F J, PANG X Q, GUO F T, GUO J G. Critical conditions for natural gas charging and delineation of effective gas source rocks for tight sandstone reservoirs[J]. *Geological Journal*, 2016, 51: 113-124.
- [47] 庞雄奇, 高剑波, 吕修祥, 等. 塔里木盆地“多元复合—过程叠加”成藏模式及其应用[J]. *石油学报*, 2008, 29(2): 159-166. [PANG X Q, GAO J B, LV X X, et al. Reservoir accumulation pattern of multi-factor recombination and procession superimposition and its application in Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2): 159-166.]
- [48] 邓向辉. 中国与苏丹的石油合作[J]. *中外能源*, 2009, 14(11): 1-6. [DENG X H. Petroleum cooperation between China and Sudan[J]. *Sino-Global Energy*, 2009, 14(11): 1-6.]
- [49] 钱兴坤, 姜学峰. 2015年国内外油气行业发展概述及2016年展望[J]. *国际石油经济*, 2016, 24(1): 27-35. [QIAN X K, JIANG X F. Overview of international oil and gas industry developments in 2015 and outlook for 2016[J]. *International Petroleum Economics*, 2016, 24(1): 27-35.]
- [50] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术: 兼论非常规油气地质学[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(4): 385-399, 454. [ZOU C N, ZHANG G S, YANG Z, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: on unconventional petroleum geology[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(4): 385-399, 454.]
- [51] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 129-136. [JIA C Z, ZHENG M, ZHANG Y F. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 129-136.]
- [52] 邱中建, 赵文智, 邓松涛. 中国致密砂岩气和页岩气发展前景和战略意义[J]. *中国工程科学*, 2012, 14(6): 4-8. [QIU Z J, ZHAO W Z, DENG S T. Development prospect and strategic significance of tight gas and shale gas in China[J]. *Engineering Science*, 2012, 14(6): 4-8.]
- [53] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 343-350. [JIA C Z, ZOU C N, LI J Z, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 343-350.]
- [54] 邹才能, 杨智, 陶士振, 等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(1): 13-26. [ZOU C N, YANG Z, TAO S Z, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(1): 13-26.]
- [55] 吴小奇, 黄土鹏, 廖芙蓉, 等. 四川盆地须家河组及侏罗系煤成气碳同位素组成[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(4): 418-427. [WU X Q, HUANG S P, LIAO F R, et al. Carbon isotopic compositions of coal-derived gas in the Xujiache Formation and Jurassic in the Sichuan basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(4): 418-427.]
- [56] 郭秋麟, 李建忠, 陈宁生, 等. 四川合川—潼南地区须家河组致密砂岩气成藏模拟[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(4): 409-417. [GUO Q L, LI J Z, CHEN S N, et al. Modeling of the tight sandstone gas accumulation for the Xujiache Formation, Hechuan-Tongnan area, Sichuan basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(4): 409-417.]
- [57] 潘建纲. 南海油气资源及其开发展望[J]. *海洋论坛*, 2002, 3: 39-49. [PANG J G. Hydrocarbon resources and its development prospect in the South China sea[J]. *Marine Forum*, 2002, 3: 39-49.]
- [58] 朱伟林, 张功成, 钟锴, 等. 中国南海油气资源前景[J]. *中国工程科学*, 2010, 5: 46-51. [ZHU W L, ZHANG G C, ZHONG K, et al. The prospect of South China Sea oil and gas[J]. *Engineering Science*, 2010, 5: 46-51.]
- [59] 黄少婉. 南海油气资源开发现状与开发对策研究[J]. *理论观察*, 2015, 11: 91-93. [HUANG S W. The current development situation and the development countermeasures of oil and gas resources in the South China sea[J]. *Theoretical Observation*, 2015, 11: 91-93.]
- [60] 牛嘉玉, 王玉满, 谯汉生. 中国东部老油区深层油气勘探潜力分析[J]. *中国石油勘探*, 2014, 9(1): 33-41. [NIU J Y, WANG Y M, JIAO H S. Potential analysis of deep oil and gas exploration of old oil areas in East China[J]. *China Petroleum Exploration*, 2014, 9(1): 33-41.]

Research status and development directions of hydrocarbon resources in China

JIA Chengzao^{1,2,3}, PANG Xiongqi^{1,2}, JIANG Fujie^{1,2}

1 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, Beijing 102249

2 China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249

3 China National Petroleum Corporation, Beijing 100724

Abstract Hydrocarbon resources will be in short supply in the future in China. Since 1993, China has been a net importer of oil while oil and gas imports increase year by year. The amounts imported reached 328 million tons of oil and 62.4 billion cubic meters of gas in 2015. External oil dependency will increase from 65% in 2015 to more than 80% in 2030. The Chinese Academy of Engineering and the International Energy Agency (IEA) predict that China will have future long-term oil and gas shortages. The proportion of oil and gas in China's energy use is less than 23% at present, which is substantially lower than the 75% in the United States and 67% in Russia. A substantial increase in the proportion of oil and gas used has practical significance in reducing pollution and improving people's living standards.

China is rich in oil and gas resources, but the geological conditions are complex and development is expensive. Chinese hydrocarbon resources show many characteristics. Firstly, the oil and gas resource distribution is highly uneven. The characteristics of hydrocarbon resources in different basins, different chronostratigraphy and different burial depths are very different. Secondly, the unconventional oil and gas resources are very varied and large. Finally, the residual conventional oil and gas resources are smaller, poor quality and have adverse geological conditions. Future exploration will face great difficulties and high costs. Although China's oil and gas exploration research has achieved a great deal, there is still a large gap from advanced foreign levels. In theory, significant progress has been made in understanding the formation and evolution of reservoirs, stratigraphic classification and the origins of different rock types and gas types and China's complicated superimposed basins. In technology, important progress has been made in oil and gas exploration technology under complicated geological conditions, complex reservoir development and exploitation technology. As to equipment, the ultra-deep drilling, ocean 985 drilling platform, large fracturing truck, X100 grade pipeline steel, geological guide PDC bit and so on have been designed and manufactured. Even so, China still falls far behind developed countries in the key areas of unconventional, deep stratum and deep-sea oil and gas exploration and development. The proportion of leading technologies is no more than 30%. More than 60% technologies are in the tracking state. Three challenges to China's oil and gas resources research needs to be faced without delay. First, it is currently very difficult and expensive to explore for and develop hydrocarbon resources in China. Discovered reserves are only growing slowly. The ratio of production to reservoir reserves is very low. All of these key technologies need to be studied seriously. Second, the funds invested in the key technologies of oil and gas resources exploration and development are low and changeable. This is harmful to the development and application of original technology. The funding of basic research, technology development and commercial application all need to be increased. Third, in China, the unconventional, deep, deep-sea and residual oil and gas resources are abundant, and the actual reserves increase rapidly. All of these would be the development directions of oil and gas resources. But first of all, the serious challenges currently need to be tackled and solved as soon as possible.

Keywords China hydrocarbon resources; oil and gas exploration and development; unconventional oil and gas; deep oil and gas; deep-sea oil and gas

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2016.01.001

(编辑 马桂霞)