



# 中国油气资源勘探与可持续发展\*

刘光鼎

(中国科学院地质与地球物理研究所 中国科学院油气资源研究重点实验室 北京 100029)

**摘要** 油气资源对于现代经济社会发展十分重要。中国油气如何实现可持续发展?中国的石油资源科技发展应该采取何种战略选择? 本文从中国大陆构造演化与油气资源分布、历史的发展及其经验、油气科技发展态势等方面讨论了中国油气资源勘探与可持续发展的问题,并针对中国油气的重大需求,明确提出了中国油气勘探亟需解决的问题和对我国未来油气科技发展的建议。

**关键词** 油气资源,中国大陆构造演化,可持续发展

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.03.010



刘光鼎院士

油气资源对于现代经济社会发展十分重要。上个世纪以来,世界各国围绕石油资源而展开的战争越来越频繁。我国的油气资源相对不足,特别是近期的产能仍不能满足经

济快速发展的需要。2011年我国进口原油总量达  $20\,379 \times 10^4$  t,比2008年增长13.9%,对外依存度高达55%。按照目前的趋势,2020年中国石油对外依存度将超过65%。在此形势下,中国油气如何实

现可持续发展?中国的石油资源科技发展应该采取什么样的战略选择?这是应站在国家层面进行思考的问题。

## 1 中国大陆构造演化与油气资源分布

中国大陆面积为960万 $\text{km}^2$ ,海域面积约为300万 $\text{km}^2$ 。在中国大陆及邻域的空间范围内,大地构造演化可以概括为五幕演化史<sup>[1-4]</sup>:(1)前寒武纪时期,华北、塔里木、扬子、南华诸陆核先后在大洋中出现并形成块体;(2)古生代期间,各块体逐渐拼合,海水退出,形成古中国大陆,地势西低东高,并有广泛的海相碳酸盐分布;(3)中生代时,晚三叠世-早侏罗世期间,羌塘块体自南大陆漂移北上,与塔里木碰撞;晚侏罗世-早白垩世期间,冈底斯块体北上与羌塘碰撞;晚白垩世-中渐新世期间,印度块体又与冈底斯碰撞,出现不同时期特提斯洋的闭合,使得中国大陆西部处于强烈的挤压改造之中,青藏高原隆升,地壳明显增厚;(4)新生代开始,由于太

\* 本研究得到中科院知识创新项目(KACX1-YW-0903)的资助

收稿日期:2012年4月9日

平洋板块向欧亚板块聚敛,中国东部及海域处于拉张应力场,形成一系列新生代陆相碎屑岩断陷盆地;(5)晚渐新世以来,菲律宾板块俯冲于欧亚板块之下,出现琉球海沟—琉球岛弧—冲绳海槽的沟—弧—盆体系,在中国东部及海域发生沉降,使新生代断陷盆地普遍接受了较厚的沉积。在重力均衡补偿的作用下,最终形成了中国大陆西高东低的特征<sup>[5]</sup>。因此,中国大陆的宏观构造格架,可以用“三横、两竖、两个三角”(图1)来描述<sup>[5]</sup>。“三横”是组成中国大陆诸块体(华北、扬子、华南、塔里木)之间的结合带,即天山—阴山—燕山,昆仑—秦岭—大别以及江绍—南岭三条东西向结合带;“两竖”则为重力异常值发生明显变化的大兴安岭—太行山—武陵山与贺兰山—龙门山两条南北向重力梯级带;“两个三角”,为柴达木—祁连山和松潘—甘孜地区,是在青藏高原形成演化过程中遭受强烈挤压、改造的地区。在“三横、两竖、两个三角”的结合带附近有断裂和岩浆活动,是各种金属矿床赋存处;而在“三横、两竖、两个三角”的结合带之间有多种沉积盆地展布,是油气勘探的主要研究目标区。

## 2 历史发展及其经验

### 2.1 油气工业的“一次创业”

中国油气工业的发展经历了十分坎坷的过程。新中国成立之前,世界广泛应用“海相生油理论”作为油气勘探的指导思想,以致“中国贫油论”的说法十分盛行。1937年,潘钟祥先生亲自总结四川、鄂尔多斯的实际工作,开创了“陆相生油理论”。新中国在此理论指导下,先后发现了一系列的陆相断陷盆地油气藏,并建成了大庆、胜利、辽河等大型油田。到20世纪80年代,中国的原油产量达到了1.84亿吨,居世界第5位。这是我国油气工业的“第一次创业”,为中国石油天然气工业的发展奠定了坚实的基础。1997年在北京召开的世界石油大会上,充分肯定了陆相生油理论与研究成果,并指出这是中国油气勘探的特色。随后,“陆相薄互层油储地球物理理论”<sup>[6]</sup>、“陆相隐蔽油气藏勘探理论”等都是在50年来陆相油气勘探技术成果之上的总结与升华,也是中国对世界油气勘探领域的重大贡献。

### 2.2 油气工业的“二次创业”

根据中国大陆大地构造格架及其演化,在中国大陆不仅有新生代陆相沉积盆地,而且还有前新生代海相沉积盆地。如果说新生代陆相沉积盆地的油气勘探是中国油气工业的第一次创业,那么,前新生代海相残留盆地的油气勘探则是中国油气勘探的“二次创业”。半个世纪的油气勘探历程,使陆相油气藏勘探技术达到极高的水平,大而丰富的陆相油气藏基本上都找到,继续挖潜难度越来越大。同时,随着社

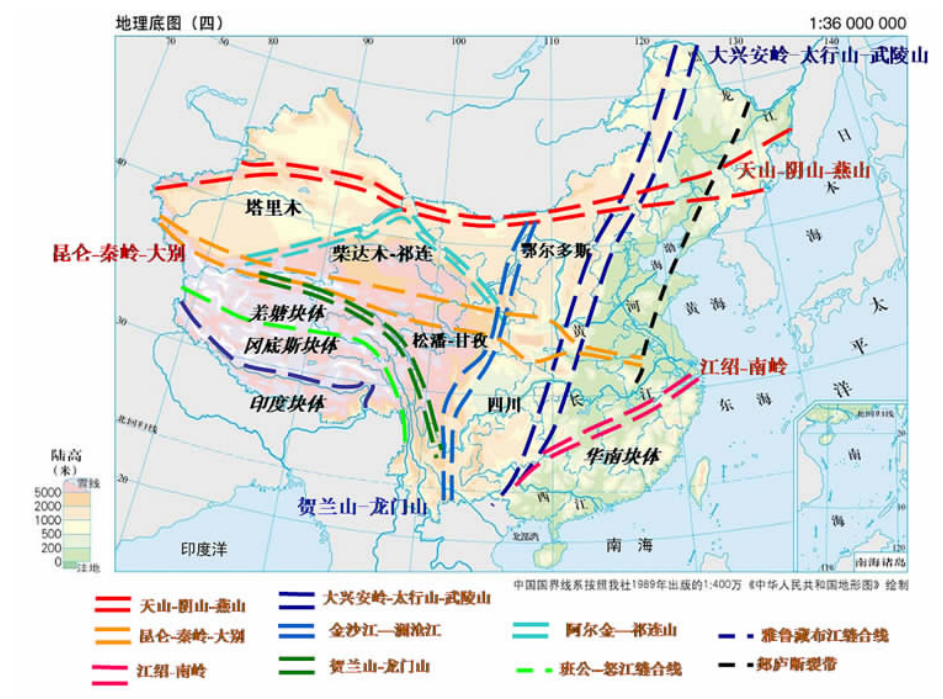


图1 中国大陆的宏观构造格架示意图



会经济建设的高速发展,工业发展的需求也日趋跃增。因此,油气勘探也必须开拓新的领域,将目标逐渐转向前新生代海相残留盆地。中国的前新生代海相油气藏具有鲜明特色,埋藏深度大、经历了长期的地质演化与后期的改造,具有复杂的结构。因此,它既不同于世界多数产油国家较为简单的地质条件,又不能完全照搬我国已有的陆相油气勘探理论、方法与技术,因此面临巨大的挑战。在我国石油行业科技人员的艰苦奋斗下,在“区域约束局部,深层制约浅层”方针的指导下,新的方法技术与勘探理论不断涌现。在川东北陆续发现了普光、罗家寨、元坝、龙岗等一批大型气田<sup>[8-10]</sup>,探明储量数千亿立方米;“海相深层碳酸盐岩天然气成藏机理、勘探技术与普光大气田的发现”推动了中国海相油气勘探的快速发展,我国的海相油气事业发展蒸蒸日上。

### 2.3 深化“二次创业”

中国油气勘探在二次创业基础上,开拓出一系列新领域和新探区,例如松辽盆地徐家围子地区,应用航磁与反射地震相结合的综合地球物理技术,在侏罗纪火山岩中发现了储量巨大天然气田<sup>[11,12]</sup>,再如,在塔河油田 4 800m 的深部,发现了非均质性强的奥陶系碳酸盐岩储层,探明储量  $6 \times 10^8$  t 以上,天然气约  $7 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>;此外,在鄂尔多斯等地区也有很多油气勘探重大突破。近来,渤海的油气勘探有很多发现,“海上大庆”将从美好的追求变为现实。

以上的一系列实例表明,在此大好形势下,深化“二次创业”,应集中力量,继续开展前新生代海相残留盆地的研究,积极展开中国海的油气勘探,并站在世界的高度上走向海外。

古人云:“不谋万世者,不足谋一时;不谋全局者,不足谋一域”。首先,必须进行油气资源的宏观战略研究,探索规律,指导勘探;其次,要坚持地质与地球物理的综合研究,在大地构造背景下,定量地探讨沉积盆地的形成演化及油气生成、运移、聚集的科学关系,预测油气资源量与其赋存空间位置;再次,应依据科学技术,充分利用计算机技术,如中科院地质与地球物理所成功地将 GPU/CPU 协

同计算技术应用于地震勘探,使波动方程保幅叠前深度偏移、逆时偏移等新技术进入了勘探实践,促进更多的油气发现,以谋求油气工业的可持续发展,为国家经济建设提供资源保证。

## 3 油气科技发展态势

由于世界对油气资源的迫切需求,地球物理勘探不断推出新技术,原有技术纷纷更新换代,预测到 2020 年新一代地球物理勘探技术将基本成熟:在地球物理勘探领域中,应用可控震源和以 MEMS 数字检波器为核心的十万道级地震采集系统进行单点高密度、三分量地震采集,基本能满足高分辨率、高信噪比的深层油气勘探的需要<sup>[19]</sup>;在电磁勘探领域中,大功率、大收发距编码发射和阵列式接收信号多次覆盖的电磁探测系统将成为常规方法。

预计到 2020 年,我国陆上深层海相地层以及近海各层系将成为重点勘探区域,国外探区明显增长;面对日趋复杂的勘探对象,目前普遍采用的技术方法,如盆地分析、构造解释、层序对比、同位素分析、油/气源追踪分析、实验分析和模拟、数学建模等,到 2020 年也将趋于成熟。应进一步完善盆地形成演化与油气成藏的理论体系,创立中国海相碳酸盐岩层系的油气勘探开发理论和技术,提高勘探成效;发展高分辨率地震测量和解释技术,较好地解决低渗、裂隙、致密砂岩储层油气藏成藏机理及优质储集空间的探测精度;进一步认识剩余油气分布机理、发展生物采油技术,采取合理的二次、三次采油技术,进一步提高采收率;积极引进和研制深海钻探装备,积极进行深层和深海-半深海油气的勘探,研究相应的开发技术;证实我国海域及青藏高原永久冻土带甲烷水合物矿床的存在,研究其形成、保存的机理和环境;研究适合我国煤层气藏的钻探及气体脱附技术;进一步认识页岩气赋存状态及地质背景,形成较为实用的页岩储层压裂技术,探索沥青矿、油页岩等高效炼制方法;拓展海外勘探开发范围、关注北冰洋圈的国际油气勘探合作。



## 4 油气资源的重大需求

中国大地构造位置特殊,油气资源条件复杂,盆地中浅部以陆相沉积为主,而广阔的海相地层或位于盆地深层,或接受晚期强烈的构造作用而变形、抬升,油气资源的保存条件较差;广阔的海相层系、海域等领域迄今还缺乏宏观战略研究,油气资源分布的规律尚未搞清。

我国大型地球物理勘探装备、高精度物探仪器、处理解释软件等长期以来依赖进口,核心技术和装备研发均受控于国外,而自主研发能力缺乏,降低了我国在资源领域参与国际竞争的能力。近年油气勘探开发中亟需解决的重要科学技术问题有:

### 4.1 中国海相碳酸盐岩层系勘探理论与方法技术

与国外海相层系不同,我国前新生代海相沉积因年代古老,经过多期构造的改造作用,多以海相残留盆地呈现。前新生代海相油气藏普遍存在着埋藏深、断裂体系复杂、类型多样、油源多种、分布分散的特点,从而成为勘探开发中的巨大难题<sup>[20]</sup>。近年内需要解决前新生代原型盆地恢复重建、复杂地表环境下的油气勘探及高性能、高精度、高效率的地球物理勘探技术。这些技术的突破点在于以MEMS核心器件为基础的十万道级地震采集系统与探测技术、高速的计算机处理技术及相应的地球物理信息综合处理软件技术<sup>[21]</sup>。这些核心技术的突破将开创中国海相层系油气勘探的新局面。

### 4.2 中国海域油气勘探开发技术

我国海域的油气发现主要为近海盆地的构造类型油气藏,在深水、深层勘探领域及岩性油气藏类型方面的勘探才开始起步。我国在200m水深陆架区的勘探已经启动并取得一定成绩,深水盆地的勘探还未涉及,主要受控于深水盆地结构、层序地层发育等基础性地质研究程度较低。近年内需要掌握深水油气田勘探开发的重大装备和施工技术,在中国独特地质背景条件下对深水盆地油气成藏的认识要有所突破。建立深水油气地球物理勘探技术

并建成自有的深水钻探设备制造技术,形成深水油气资源潜力评价技术。这些核心技术将形成深海勘探的能力,带动中国含油气盆地勘探成效的大幅度提高。

### 4.3 非常规油气资源评价方法及开发技术

非常规油气资源丰富、远景广阔,是未来现实的替代资源;但非常规油气勘探开发成本高、风险大,中国大地构造背景及演化过程独特,不能盲目照搬国外的理论、经验和方法;需要在认识中国大地构造演化及盆地地质条件上,形成非常规油气成藏理论和评价方法,发展资源潜力分析预测和评价技术、开发工艺及技术等。技术的突破点在于适合中国地质条件的先进油气钻采技术:如蛇形、小眼井钻井技术,水平井、多分支井技术,先进的地层压裂技术等。这些技术解决的方向必须是降低成本、减少污染、保证安全、适合国情。

## 5 对我国未来油气科技发展的建议

(1)海相层系和中国海域勘探是当前油气勘探的当务之急。我国海相地层分布范围广,普遍存在着埋藏深、断裂体系复杂、类型多样、油源多种、分布分散且隐蔽性强的特点,具有良好的勘探前景和巨大的勘探潜力;未来勘探应立足塔里木、四川、鄂尔多斯3大盆地,寻找大型油气田。我国海域油气勘探开发应从近海向深水油气藏、岩性油气藏及高温高压等复杂油气藏方向发展。

(2)深层油气主要是指现今主要勘探目的层位以下的油气资源。盆地深层以海相层系为主,勘探领域广阔,保存条件相对较好,具有形成大油气田的条件,但由于历经多期构造活动,成藏系统复杂,定量的盆地动力学研究已成为目前该领域研究的前沿。

(3)致力于非常规油气资源的开发。非常规油气资源丰富、远景广阔,是未来现实的替代能源;但其勘探开发成本高、风险大,中国大地构造背景及演化过程独特,不能盲目照搬国外的理论、经验和方法;需要具体问题具体分析,在发展高新科技



术同时结合常规油气勘探开发滚动施行。

(4)进一步提高油气勘探开发技术。应该认识到中国东部勘探程度较高的油气勘探和开发程度仍然大大落后于美加等资源大国,大有潜力可挖;应该加强相关地质理论和勘探开发技术方法的研究,进行精细勘探;开展剩余油分布、注液排替过程、新的高效率的开采方式等方面的研究,研发基于微生物、化学驱、纳米材料等新型三次采油驱替注剂,采取多种方法提高油气采收率。

(5)研发具有自主知识产权的油气勘探开发仪器和软件。为完成上述领域的油气资源勘探开发,需要形成独立自主的测试仪器及施工设备研发能力,研发具有自主知识产权的油气勘探开发仪器设备和软件。我国应加大高精度地球物理数据采集系统、海量数据处理和数值模拟系统、高性能的钻井设备、海洋油气勘探开发仪器装备的研发。

(6)培养油气勘探人才队伍。培养人才队伍是中国油气事业发展的基础与未来。亟需建立适宜的管理和考核机制,培养和引进相结合,积极推进相关创新团队建设,打造一支从事应用基础和应用研究、有能力进行油气关键技术攻关的人才队伍。

**致谢** 感谢中科院地质与地球物理所郝天珧、罗晓容研究员和宋洋、胡卫剑博士对本文的完成提供的帮助。同时对《中国科学院油气资源发展路线图》研究小组成员在资料调研方面给予的合作致以真挚的谢意!

#### 主要参考文献

- 1 刘光鼎,郝天珧,刘伊克. 中国大地构造宏观格架及其与矿产资源的关系. 科学通报,1997,42(2):113-118.
- 2 刘光鼎,郝天珧. 中国的地质环境与隐伏矿床. 地球物理学报,1998,41(2):182-188.
- 3 刘光鼎. 中国海地球物理场与油气资源. 地球物理学进展,2007,22(4):1229-1237.
- 4 万天丰,朱鸿. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆再造中的位置与运动学特征. 现代地质,2007,21(1):1-13.
- 5 刘光鼎. 中国大陆构造格架的动力学演化. 地学前缘,

2007,14(3):39-46.

- 6 刘光鼎,李幼铭,吴永刚编著. 陆相油储地球物理学导论. 北京:科学出版社,1998.
- 7 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业. 地球物理学进展,2001,16(4):1-3.
- 8 牟书令等编著. 中国海相油气勘探理论与实践. 北京:地质出版社,2009.
- 9 马永生. 中国海相油气田勘探实例之六——四川盆地普光大气田的发现与勘探. 海相油气地质,2006,11(2):35-40.
- 10 冉隆辉,陈更生,徐仁芬. 中国海相油气田勘探实例之一——四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明. 海相油气地质,2005,10(1):43-47.
- 11 杨辉,张研,邹才能等. 松辽盆地深层火山岩天然气勘探方向. 石油勘探与开发,2006,33(3):274-281.
- 12 杨辉,张研,邹才能等. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩分布及天然气富集规律. 地球物理学报,2006,49(4):1136-1143.
- 13 朱夏. 试论古全球构造与古生代油气盆地. 石油与天然气地质,1983,4(1):1-33.
- 14 朱夏,陈焕疆,孙肇才等. 中国中、新生代构造与含油气盆地. 地质学报,1983,(3):235-242.
- 15 李博,刘红伟,刘国峰等. 地震叠前逆时偏移算法的 CPU/GPU 实施对策. 地球物理学报,2010,53(12):2938-2943.
- 16 刘国峰,刘洪,李博等. 山地地震资料叠前时间偏移方法及其 GPU 实现. 地球物理学报,2009,52(12):3101-3108.
- 17 刘红伟,刘洪,李博等. 起伏地表叠前逆时偏移理论及 GPU 加速技术. 地球物理学报,2011,54(7):1883-1892.
- 18 中国科学院计算技术研究所. [http://www.ict.cas.cn/xwzx/mtwz/201006/t20100609\\_2876449.html](http://www.ict.cas.cn/xwzx/mtwz/201006/t20100609_2876449.html). 2010.06.09.
- 19 王春田. MEMS 数字检波器采集系统技术研究(博士学位论文). 中国地质大学(北京),2011.
- 20 刘光鼎,陈洁. 中国前新生代残留盆地油气勘探难点分析及对策. 地球物理学进展,2005,20(2):273-275.
- 21 Liu G D, Yang C C, Hao T Y et al. Oil and gas resources in China: A roadmap to 2050. Beijing: Science Press and Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.

## Exploration and Sustainable Development of Oil and Gas Resources in China

Liu Guangding

(Institute of Geology and Geophysics Key Laboratory of Petroleum Resources Research, CAS 100029 Beijing)

**Abstract** Oil and gas resources are very important to the modern economic and social development. How to achieve petroleum sustainable development in China? What kind of strategies should be taken for technology development of petroleum resources? This paper discussed the issues about exploration and sustainable development of oil and gas resources from the tectonic evolution of China, the distribution of petroleum resources, the history and experience of oil and gas exploration, the development trend of oil and gas technology. For the large petroleum demand of China, the urgent problems of oil and gas exploration and suggestions for future oil and gas technology development are proposed.

**Keywords** oil and gas resources, continental tectonic evolution of China, sustainable development

**Liu Guangding** Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), a Marine Geology and geophysicists, He is a director of development the Strategic Committee of Institute of Geology and Geophysics, CAS, the honored president of Chinese Society of Oceanography and chief editor of Chinese Journal of Geophysics. He has presided National Climbing Projects and major projects of National Natural Science Foundation for many times. He has been long advocating "the second round of China's marine oil and gas exploration" and comprehensive geological and geophysical study. E-mail: gdliu@mail.igcas.ac.cn

**刘光鼎** 中科院院士, 海洋地质与地球物理学家, 中科院地质与地球物理所研究员。中国地球物理学会、中国海洋学会名誉理事长,《地球物理学报》、《地球物理学进展》主编。1929 年出生。多次主持国家攀登项目、国家自然科学基金重大项目等。长期倡导我国海相油气勘探“二次创业”和综合地质地球物理研究。E-mail: gdliu@mail.igcas.ac.cn

(接 358 页)

“十一五”课题、国家重点基础研究(“973”)发展规划项目、国家自然科学基金创新群体项目和重点项目、国家社会公益研究专项项目、国家西部行动计划项目;参与完成国家水中长期发展规划、全国水资源综合规划、南水北调工程总体规划等重大国家规划多项,其他省部级咨询项目十余项。先后获国家科技进步奖二等奖 6 项,省部级科技奖励一等奖 10 项、二等奖 2 项、三等奖 3 项,全国优秀工程咨询奖 1 次,其他奖励多项。出版专著 20 余部,获中国图书奖 1 次,发表论文 200 余篇,其中 SCI、EI 和 CSCD 检索论文 138 篇,获中国科协第四届优秀论文奖,全国一级学会优秀论文奖多项。被授予全国杰出专业技术人才、全国先进工作者、南水北调工程规划设计先进个人、“九五”国家重点科技攻关计划先进个人、全国水利系统奉献水利先进个人等荣誉称号。E-mail: Wanghao@iwhr.com