

我国油气储量、产量增长趋势影响因素分析

李玉喜, 张道勇, 朱 杰

国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034

摘 要: 影响油气储量的增长趋势的影响因素很多, 不同类型盆地油气储量、产量增长规律差别也较大。充分认识影响储量、产量增长的各方面因素, 对合理预测我国油气储量产量增长趋势, 判断油气储量、产量增长领域, 确定盆地在目前和未来一段时期内的主要勘探目标等都有重要意义。目前, 对影响油气储量、产量增长因素的认识还存在不同看法, 部分因素没有得到充分考虑, 系统分析还需要进一步加强。本文通过分析, 将影响油气储量、产量增长趋势的影响因素归纳为三方面: 在地质方面, 油气资源潜力和资源分布的集中程度, 盆地圈闭发育特点直接影响勘探进程和储量增长; 资源潜力大、分布集中、圈闭发育均衡的盆地勘探进展快, 储量增长具有典型的双峰特点; 资源分布层位多的叠合盆地储量增长具有多峰特征等。在理论技术方面, 陆相成油理论打开了我国陆相盆地勘探领域, 出现我国第一个储量增长高峰, 岩性、地层成藏理论的成熟带来了我国储量第二个增长高峰; 地震技术、钻井技术、测井、测试技术和采油等勘探开发技术的进步, 不断拓展勘探领域, 勘探开发由正向构造扩展到凹陷, 由中浅层扩展到深层, 由陆地扩展到海洋, 由平原、丘陵扩展到山地、沙漠和滩海。油气需求和价格等直接影响勘探投入和储量发现。各种因素的作用方式和程度不同, 油气储量、产量增长特征是在各因素的综合作用下的结果。通过系统分析, 充分认识影响储量、产量增长的各方面因素, 可为合理预测我国油气储量、产量增长趋势, 判断油气储量、产量增长领域提供基础依据。

关键词: 油气资源; 储量、产量; 增长趋势; 影响因素; 圈闭类型

中图分类号: TE155; P132.11 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)06-855-13

Factors that Affect the Increasing Trends of China's Oil and Gas Reserves and Products

LI Yu-xi, ZHANG Dao-yong, ZHU Jie

Strategic Research Center of Oil & Gas, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034

Abstract: There are many factors affecting the discovery of oil and gas. Due to the difference in influencing factors, reserves increase in different ways in different basins. Therefore, it is very important to recognize the factors for the exploration of a basin. Many specialists have analyzed the influencing factors in different ways and, as a result, many influencing factors in several aspects have been recognized. Different key points and ideas have been emphasized, but not enough importance has been attached to some aspects. A systematic analysis is needed. The influencing factors are divided into three aspects in this paper. The first aspect is the geology and resources: the enrichment and centralization of oil and gas in a basin determine its exploration value; the ratio of different types of oil and gas traps can affect the development of basin exploration. The second aspect is the petroleum theories and technologies for exploration and development of oil and gas: the development of hydrocarbon-generating theories from sea facies to lake facies has enlarged the exploration field to lake basins; the development of oil concentration theories has enlarged the exploration field from anticline to depression; the development of seismic, drilling, well logs and some other means has enlarged the exploration space; the exploration area has been expanded from plain to hills, mountains, deserts, deep seas and foreshores. The oil price and monopolization have very important influence on the investment of exploration. Through an systematic analysis of all the influencing factors, we can form correct opinions on the increasing trend of oil and gas reserves and find the main exploration fields.

Key words: oil and gas resources; reserve and production; increasing trend; influencing factors; trap style

本文为国土资源部、国家发展和改革委员会、财政部联合实施的国家专项“新一轮全国油气资源评价项目”资助。

收稿日期: 2009-05-14; 改回日期: 2009-11-07。

第一作者简介: 李玉喜, 男, 1962年生。研究员, 博士。主要从事常规、非常规油气地质和资源研究工作。通信地址: 100034, 北京市西城区阜内大街88号。电话: 010-66558861。E-mail: liyuxi@163.com。

当前,我国石油产量增长幅度小于消费增长幅度,石油对外依存度逐年攀升(翟光明,2004;徐玉高等,2004),提高国内油气资源保障能力的任务十分艰巨。合理判断我国油气储量、产量在未来一段时间的增长趋势,对国家制定能源政策和战略、石油公司制定勘探规划等都十分关键。而影响含油气盆地油气储量、产量走势的因素很多(傅瑞军等,2003;查全衡等,1999),不同类型盆地油气储量、产量增长规律差别较大(郭元岭等,2001)。充分分析影响储量、产量增长的各方面因素,深入总结油气储量、产量增长规律,建立能够准确描述油气储量、产量增长规律的预测方法,合理预测含油气盆地油气储量、产量增长趋势,判断油气储量、产量增长领域,是制定盆地勘探规划的主要依据之一,是合理判断全国油气储量、产量增长趋势的基础。

目前油气储量、产量增长趋势预测主要采用盆地油气储量、产量历史数据,通过数学模型进行预测。理论上,我国含油气盆地演化复杂,油气储量、产量的增长具有多峰特征,多旋回模型更能客观描述这种特征。但从现有预测结果看,多旋回预测模型对盆地储量、产量历史数据拟合较好,而预测数据的吻合程度很差,需要大量的人工干预加以约束,以期得到合理的预测结果。

这种预测理论与实际应用间差异产生的主要原因,是由于影响盆地油气储量、产量增长的因素涉及面广,直接影响因素和间接影响因素甄别不够透彻,重点因素分析不突出,影响因素研究不够深入,使得不同勘探阶段所获得的油气储量、产量数据的内涵难以界定清楚,导致预测结果与实际数据出现较大偏差。为提高油气储量、产量预测的可靠性,必须对影响油气储量、产量增长的各方面因素进行系统的分析和总结,为合理划分不同勘探阶段油气储量、产量类型,实现分类预测奠定基础。

1 油气储量、产量增长趋势预测研究发展过程

20世纪50年代以来,美国、加拿大等国家的政府机构,石油公司和有关专家学者基于不同目的,从不同角度开展油气储量、产量增长趋势预测研究。美国著名石油地质学家 Hubbert 是这方面的研究的主要开拓者(M. King Hubbert, 1956, 1967), Hubbert 在 1956 年,后又与美国地质调查局(USGS)合作,分析预测美国本土的石油产量变化规律。Hubbert 预测美国石油产量将在 1965-1970 年达到高峰期,这一预测结果与美国石油产量变化规律基本吻合,预测结

果为美国制订全球石油战略提供了坚实的基础支撑。另外 Warren Davis、L.F. Ivanhoe、Jean H. Laherrère、Werner Zittel 等学者也深入开展了这方面的研究(Warren Davis, 1958; L.F. Ivanhoe, 1988; Jean H. Laherrère, 1997, 2003; Werner Zittel etc., 2002),丰富发展了预测方法。美国联邦地质调查局(USGS)开展多次全球和美国本土油气储量、产量增长趋势预测,预测期一般为 30 年,如在 1995-2000 年的全球油气资源评价中,对 1995-2025 年全球(美国以外)的油气储量、产量增长趋势进行了预测(USGS, 2000; T. R. Klett etc., 2005)。

我国油气储量、产量增长趋势预测研究开始于 20 世纪 80 年代。2000 年以前的研究主要集中在专家和石油公司层面。其中,翁文波先生做了开创性的工作(翁文波, 1984); 陈元千教授等继承并发展了翁氏预测理论,并在油气储量、产量预测及中长期规划方面得到了广泛应用(陈元千, 1996、1998)。张抗、沈平平、周总瑛等专家也在这方面作了大量研究和预测工作(张抗, 1994; 沈平等, 2000; 周总瑛等, 2003)。2003-2007 年,国土资源部、国家发展和改革委员会、财政部联合开展的“新一轮全国油气资源评价”工作,首次将油气储量、产量增长趋势预测研究作为油气资源评价的主要内容之一开展研究工作。

在预测方法上,20 世纪 50 年代以前主要为经验估计; 50 年代到 90 年代以数学模型预测为主; 近年来对油气储量、产量增长趋势预测研究工作,特别是新一轮全国油气资源评价工作,大大加强了影响储量、产量增长的因素分析,研究方向开始向影响因素综合分析 with 数学模型相结合方向发展,即通过分析影响油气储量、产量增长趋势因素,确定预测模型的关键参数,将数学模型进行合理的约束; 再通过合理的数学模型模拟油气储量、产量增长过程。由此可见,油气储量、产量增长趋势影响因素分析结果直接影响数学模型的预测结果,是综合预测成功与否的关键。本文通过系统分析,将油气储量、产量增长趋势的影响因素归纳为地质因素、理论技术因素和价格因素三方面,并对各种因素的影响特点进行了系统分析,为进一步开展油气储量、产量增长趋势预测工作奠定基础。

2 影响油气储量、产量增长趋势的地质因素

影响油气储量产量增长趋势的地质因素很多。通过系统分析总结我国不同盆地油气储量、产量增长历程认为,影响我国主要盆地油气储量、产量增长的地质因素主要为盆地资源潜力和分布的集中程

度、盆地圈闭发育类型特征两方面。油气资源潜力大、资源分布相对集中的盆地的油气勘探发现快;资源潜力大但分布层位多且复杂的盆地油气富集规律认识难度大,勘探进展慢。构造圈闭发育的盆地勘探发现早,岩性、地层和复合圈闭发育的盆地勘探发现缓慢,过程复杂。

2.1 盆地资源潜力、分布的集中程度对储量增长的作用

我国的含油气盆地多经历了长期的盆地演化过程,油气成藏规律复杂(刘和甫等, 2004、2005),不同类型盆地油气资源潜力和勘探成效差别较大(吴国干等, 2006; 彭希龄等, 2006)。概括起来,我国东部及近海大中型含油气盆地主要为裂谷及边缘海盆地,中西部大中型含油气盆地主要为叠合盆地,另外还发育有大量的中小型断陷盆地。这些盆地的不同演化过程,直接影响了盆地的油气资源潜力、油气资源的分布规律和储量增长规律(葛肖虹等, 2006)。其中,裂谷盆地、大陆边缘盆地资源潜力大,油气资源分布的集中性强,主力层系突出;复合盆地油气资源潜力大,但生油层和产油层均很多,资源有多层系、多中心分布特点,集中性较裂谷及大陆边缘盆地差,盆地油气地质规律复杂,储量发现具有多阶段、多峰性特点;中小型断陷盆地资源潜力差别较大,生油层系和产油层系相对单一。

2.1.1 东部及近海大中型盆地

(1) 有克拉通背景的裂谷盆地

渤海湾、苏北等盆地是在古生代稳定的古生代克拉通沉积基础之上发育形成的裂谷(断陷)复合盆地(钱基等, 2001; 丘海峻等, 2006)。盆地烃源岩在克拉通层系及裂谷或断陷中发育,以裂谷阶段烃源岩为主,后者形成时代新,演化过程短,处于生排烃高峰阶段,是盆地的主力烃源岩层系。克拉通层系烃源岩演化过程长、演化历史复杂,多数烃源岩生排烃高峰已过,并且处于过成熟阶段,以生成天然气为主。这类盆地资源潜力主要取决于裂谷(断陷)规模和资源富集程度;下部克拉通层系因后期改造的破坏作用,资源潜力和类型明显受到影响。盆地主要油气产层为第三系地层。主力烃源岩和产油层分布层位的集中性强。下部的克拉通层系认识程度

和勘探程度低,资源潜力还有待进一步认识。

(2) 克拉通间裂谷盆地

松辽盆地是在古生代的西伯利亚、华北和佳木斯克拉通之间形成的裂谷盆地。裂谷阶段主要发生在晚侏罗至早白垩纪世,晚白垩世盆地进入回返萎缩阶段(刘德来等, 1996; 殷进垠等, 2002)。盆地发育断陷层和坳陷层两大含油层系,断陷层系富气,坳陷层富油,油气资源在断陷层系和坳陷层系的富集程度均很高(赵文智等, 2001)。前中生界地层含油性的认识程度有限。

(3) 大陆边缘盆地

我国东海、南海北部和南部发育中新世代大陆边缘盆地,盆地从晚白垩至古新统开始发育,一般古近纪为陆相断陷湖盆,发育有湖相烃源岩,新近纪转化为坳陷,并发生海侵。由于盆地区陆壳较薄,地温梯度相对较高,烃源岩成熟较快,已经进入低成熟-成熟阶段(张智武等 2005; 郑求根等, 2005; 闫义等, 2005)。

这些盆地油气资源量大、资源丰度高,资源分布层位较集中。烃源岩主要发育在古近系,新近系主要为气源岩;储层除潜山外,主要发育在新近系,古近系储层次之。从勘探历史看,这类盆地储量发现速度均较快,主要油气田在勘探早期就可以发现。

总体上,中国东部裂谷和大陆边缘盆地的主力烃源岩层系和主力产油层系都相对集中,盆地油气富集层位和富集区突出,勘探目标集中性强(表 1)。资源分布的集中性特点有利于勘探发现,这类盆地在勘探早期就会有较大发现;并且在 20 世纪 80 年代以来的岩性地层勘探阶段还会出现储量增长高峰,具有双峰特征。但两个峰值的储量含义不同,前者主要为构造圈闭中探明的储量、后者以岩性地层圈闭中探明的储量居多。

2.1.2 中西部叠合盆地

我国中西部的多数大中型盆地为叠合盆地,叠合盆地均具有多套烃源岩,多套产油层系,资源在层系上的集中程度较裂谷盆地和被动大陆边缘盆地要低,而勘探领域则明显多于裂谷和大陆边缘盆地。由于资源分布的集中性不强,使勘探领域相对分散,每个领域的突破都会带来储量的明显增长,

表 1 东部及近海盆地烃源岩层系及产油层系发育规律

Table 1 Development regularity of hydrocarbon and oil-producing rock series in eastern China and offshore basins

松辽		渤海湾		珠江口、北部湾		莺-琼盆地、东海	
烃源岩层系	产油层系	烃源岩层系	产油层系	烃源岩层系	产油层系	烃源岩层系	产油层系
白垩系	白垩系	古近系	新近系	古近系	新近系	新近系	新近系
		上古生界	古近系		古近系	古近系	古近系
			潜山				

盆地储量增长的多峰性是这类盆地勘探特征。我国的叠合盆地包括有克拉通和无克拉通两种情况,其资源潜力和资源分布规律有一定差别(陈永武等, 2004; 张抗, 2004; 陈业全等, 2004)。

(1) 克拉通为主的叠合盆地

四川、鄂尔多斯等盆地古生界为稳定克拉通沉积,印支运动后,华北克拉通西部和上扬子区进入前陆盆地演化阶段,形成鄂尔多斯、四川等前陆盆地;燕山期转为大型拗陷沉积(陈刚等, 2005; 范小林等, 2005; 柳少波等, 2005)。盆地发育下古生界、上古生界和中生界多套烃源岩。古生界烃源岩成熟度高,以产气为主;三叠系烃源岩在鄂尔多斯盆地以产油为主,在四川盆地以产气为主;侏罗系烃源岩在鄂尔多斯和四川盆地均以产油为主。盆地资源潜力大,烃源岩发育层位多,演化过程复杂,演化程度差别大;油气成藏规律复杂,勘探领域多;油气垂向上多层分布明显。从勘探历史看,这类盆地勘探具有长期性和复杂性特点,储量、产量增长具有多峰特点。

塔里木盆地在演化过程中,克拉通与前陆交替出现,在早古生代末、晚古生代末及三叠纪,在克拉通沉积之后形成两期大规模的前陆盆地,前陆盆地部分叠置在克拉通沉积之上。由于前陆盆地具有沉降差异大的特点,导致这类盆地沉积厚度变化大,埋藏深度变化大,勘探难度大(何登发等, 2005)。烃源岩在克拉通沉积阶段和前陆盆地沉积阶段都广泛发育,发育层位多,演化过程长,因埋深不同,演化程度差别大;盆地油气资源潜力大,分布层系多,成藏规律复杂,勘探领域多;由于前陆盆地主要发育在克拉通盆地边部,与克拉通盆地部分重叠,形成前陆区与克拉通区油气资源类型上的差异,前陆

区富气,克拉通区富油,油气资源在不同单元差别较大。盆地勘探目的层埋深大、识别难,储量、产量增长具有多峰特点(徐向华等, 2004; 贾承造等, 2005)。

(2) 克拉通间发育的叠合盆地

准噶尔盆地发育在塔里木、西伯利亚、哈萨克斯坦克拉通之间,二叠纪为前陆盆地发育阶段,西北缘、东北缘、南缘分别发育前陆盆地,二叠纪末期趋于统一,并逐步向拗陷转化,侏罗纪进入统一的拗陷发育阶段;白垩纪-古近纪,仍为拗陷,沉积稳定、分布广泛,但盆地边缘开始受到挤压;新近纪至第四纪,盆地南缘再次挠曲下沉,形成近东西向的再生前陆盆地(陈发景等, 2005)。烃源岩在前陆区和拗陷区广泛分布,前陆区烃源岩具有多中心分布特征,并因埋深不同而演化程度有明显差别;拗陷区烃源岩分布广泛,较为稳定;再生前陆阶段烃源岩分布局限于盆地南缘(陈业全等, 2004)。这类盆地油气资源潜力大,油气成藏规律复杂,认识的阶段性明显,勘探目的层埋深变化大,技术经济条件要求高。

柴达木盆地在侏罗纪为断陷盆地,古近纪以来成为陆内前陆盆地。在断陷阶段和前陆演化阶段均形成湖相烃源岩,形成多生烃中心和多个勘探领域(Pang x.q., et al., 2004; 徐凤银等, 2003)。酒泉盆地在白垩纪为断陷盆地,发育多个断陷,形成了盆地主要烃源岩层,新生代受到挤压,成为前陆盆地。

总体上,中西部大中型叠合盆地烃源岩层位多,油气产层多,油气具有多层位、多中心分布特点。这类盆地勘探领域多,在勘探早期就会有较大发现。当一个新领域有所突破后,就会出现一个储量高峰,盆地勘探领域多,油气储量、产量增长的多峰性十分突出(表2)。

表2 中西部叠合盆地烃源岩层系和产油层系发育规律

Fig. 2 Development regularity of hydrocarbon and oil-producing rock series in superimposed basins in central and western China

鄂尔多斯		四川		塔里木		准噶尔		吐哈		柴达木	
烃源岩	产油	烃源岩	产油	烃源岩	产油	烃源岩	产油	烃源岩	产油	烃源岩	产油
层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系	层系
侏罗系	侏罗系	侏罗系	侏罗系	侏罗系	第三系	古近系	古近系	侏罗系	新近系	第四系	第四系
三叠系	三叠系	三叠系	三叠系	三叠系	白垩系	白垩系	白垩系	三叠系	古近系	新近系	新近系
二叠系	上古生界	二叠系	二叠系	二叠系	侏罗系	侏罗系	侏罗系	二叠系	白垩系	古近系	古近系
石炭系	下古生界	石炭系	石炭系	石炭系	三叠系	三叠系	三叠系		侏罗系	侏罗系	
奥陶系		志留系	泥盆系	奥陶系	二叠系	二叠系	二叠系		三叠系		
寒武系		寒武系	志留系	寒武系	石炭系	石炭系	石炭系				
		震旦系	寒武系		泥盆系						
			震旦系		志留系						
					奥陶系						
					寒武系						
					震旦系						

2.1.3 中小型断陷盆地

断陷盆地发育的背景多样,在克拉通、被动大陆边缘、褶皱带等背景上均可形成断陷盆地(陈启林等,2005;张文宾等,2004;胡受权等,2001)。中生代断陷盆地主要发育在侏罗纪和白垩纪,新生代断陷盆地在滨太平洋区域和青藏地区发育较多。天山-北山区、塔里木盆地周边、柴达木-祁连区南部主要发育早、中侏罗世断陷,发育早中侏罗世湖相烃源岩。柴达木-祁连北部区、华北克拉通区、东北-内蒙断陷主要发育侏罗-白垩纪断陷,部分除发育有侏罗纪烃源岩外还发育有白垩纪烃源岩,特别是东北-内蒙区的西部主要发育白垩纪烃源岩。断陷盆地以中小规模为主,油气资源产层单一,同一个断陷盆地群中的不同断陷油气资源潜力有明显差别(表3)。这类盆地储量、产量增长的多峰性,一是与不同断陷在不同时期取得突破有关,二是与不同圈闭类型在不同阶段取得突破有关。

表3 中小型断陷盆地烃源岩层系及产油层系发育规律
Table 3 Development regularity of hydrocarbon and oil-producing rock series in medium and small sized fault basins

海拉尔		二连		南襄	
烃源岩层系	产油层系	烃源岩层系	产油层系	烃源岩层系	产油层系
白垩系	白垩系	白垩系	白垩系	古近系	古近系

2.2 盆地圈闭发育类型对储量、产量增长作用

圈闭为油气聚集的场所,是油气勘探目标。圈闭类型可以划分为构造圈闭和岩性地层圈闭两大类20多个类型(张万选等,1990)。不同盆地发育的圈闭的类型、规模和复杂程度不同,勘探难度不同,对盆地储量、产量增长的影响不同。

盆地不同圈闭类型的储量增长特点出现明显差别的原因,与地质理论认识关系十分密切,在在早

期背斜成藏理论指导勘探阶段,背斜发育盆地储量增长快,当岩性、地层成藏理论用于指导勘探后,象鄂尔多斯等岩性地层圈闭发育的盆地储量、产量出现明显增长。

通过对我国主要含油气盆地圈闭发育特点和勘探历史分析,从圈闭发育角度,将主要含油气盆地划分为三类:构造-地层、岩性圈闭均衡发育的含油气盆地;以地层、岩性圈闭为主、构造圈闭为辅的含油气盆地;以构造-地层、岩性复合圈闭为主的含油气盆地(表4)。

2.2.1 构造及岩性、地层圈闭发育均衡盆地

这类盆地构造圈闭、地层、岩性圈闭均较发育,在勘探早期就可以发现背斜等大中型油气藏,出现一个储量增长高峰;随着勘探的深入,大量中小型构造油气藏,地层、岩性油气藏等多类型油气藏逐步探明(图1),出现第二个储量增长高峰。松辽盆地、渤海湾盆地等为构造、地层-岩性圈闭发育均衡的含油气盆地。

松辽盆地勘探的早期阶段就发现了大型长垣背斜构造,进入勘探的中期阶段,随着勘探工作量的增加和勘探方向的转变,又出现了一个新的储量增长高峰,以岩性-地层-构造复合型圈闭和岩性圈闭为主。在已探明的储量中,构造类圈闭的储量占3/4左右,地层、岩性占1/4左右。但从近些年的趋势看,未来探明的地质储量中4/5以上将从地层、岩性圈闭中获得。

渤海湾盆地第一个储量增长高峰中,既包括构造圈闭的储量发现,也包括构造为主的构造与岩性、地层复合圈闭的储量发现,第二个高峰则以岩性、地层为主的岩性、地层-构造复合圈闭储量发现为主。在已探明的石油地质储量中,构造类油藏储量占70%左右,复合类的占26%左右。随着勘探的深入,新发现的储量将主要来自于复合类和岩性、地

表4 盆地圈闭发育特点对盆地资源认识和勘探的影响
Table 4 The influence of basin trap development characteristics on the understanding and exploration of resources

时代	20世纪50年代前	20世纪50-70年代	20世纪80-90年代	2000年以来
盆地圈闭类型	中浅层构造圈闭勘探、深层构造圈闭勘探		岩性、地层圈闭勘探	复合圈闭勘探 岩性圈闭勘探
	构造圈闭勘探			
	构造圈闭勘探			
资源量变化	不断增长			

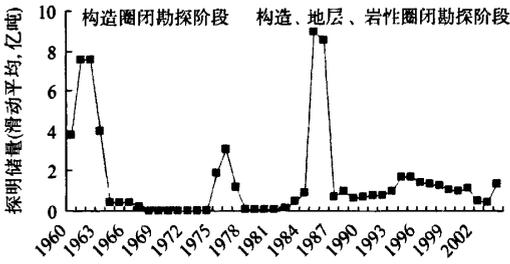


图1 构造圈闭与地层、岩性圈闭均衡发育的盆地储量增长规律

Fig. 1 Reserves growth regularity of the basin characterized by balanced development of structural trap and stratigraphic-lithologic trap

层类油藏。就发展趋势来看,复合类和岩性、地层类圈闭将是未来勘探的主要目标。

2.2.2 岩性地层圈闭为主、构造圈闭为辅盆地

由于盆地背斜等构造圈闭规模小、数量少,而地层岩性圈闭规模大、分布广。这类盆地早期在构造圈闭成藏理论指导下的构造勘探阶段,勘探成效不大,只有进入 20 世纪 80 年代后,由于开始主动勘探岩性、地层圈闭,才能够体现出这类盆地的勘探价值(图 2),出现一个大的储量增长高峰,产量也明显增长。

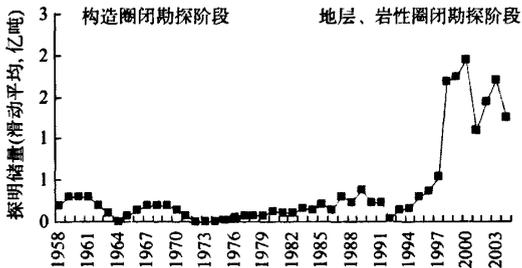


图2 地层岩性圈闭为主的含油气盆地储量增长规律

Fig. 2 Reserves growth regularity of the oil and gas-bearing basin dominated by stratigraphic-lithologic trap

这类盆地构造圈闭中的资源量小于 30%,岩性地层圈闭资源量大于 70%。鄂尔多斯盆地探明储量主要分布在岩性地层圈闭中。20 世纪 80 年代以前,石油勘探主要围绕构造圈闭进行,勘探成效不大;80 年代后,开始主动勘探岩性地层圈闭,储量出现跳跃式增长;随着研究深入和技术进步,岩性地层圈闭勘探不断取得突破。

2.2.3 构造、构造-岩性地层复合圈闭为主的盆地

盆地受到全面的构造改造,背斜等构造圈闭成排成带分布,背斜带、向斜带相间有规律排列。这类盆地构造改造强、岩性地层圈闭被构造复杂化,构造、构造-岩性地层复合圈闭广泛发育。由于构造改造强度大,部分油气藏可能已经受到破坏,影响

了盆地资源潜力。

吐哈、柴达木盆地属于构造圈闭为主的盆地,四川盆地、准噶尔盆地等属于构造-岩性地层圈闭为主的盆地。在勘探早期,储量发现集中在构造圈闭,在构造圈闭勘探程度很高以后,储量发现难度增加。进一步勘探目标开始转向构造-岩性复合圈闭和地层岩性圈闭,探明储量明显增加,形成新的储量增长高峰。构造-岩性地层复合圈闭为主的盆地,构造-岩性地层复合圈闭中的资源量占盆地资源量的一半以上,单纯的构造圈闭和地层岩性圈闭资源量在 50%以下(图 3)。

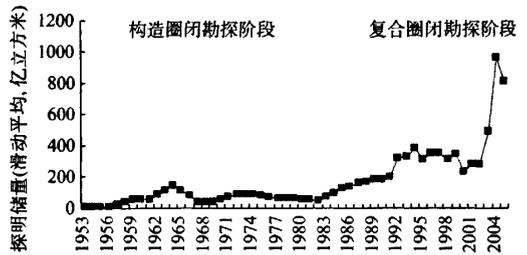


图3 构造与地层、岩性复合圈闭为主盆地储量增长规律

Fig. 3 Reserves growth regularity of the oil and gas-bearing basin dominated by complex structural and stratigraphic-lithologic trap

2.3 油气资源新类型的长远影响

油气地质理论和技术的不断进步,不但扩大了勘探领域,拓展了勘探空间,也使过去没有认识到的、难以开发利用的油气资源逐步得到开发利用。

概括起来,近年来随着理论认识的提高和勘探开发技术的进步,而进入勘探开发视野的非常规油气资源有煤层气、油砂、致密砂岩气、页岩气、水溶气、生物气等,油页岩也再次引起重视。部分非常规油气资源的资源潜力分析结果表明,我国非常规油气资源,特别是非常规天然气资源十分丰富(表 5)。

新类型油气资源的逐步认识与勘探开发,极大地拓展了油气资源领域,会对油气储量、产量的增长趋势会产生深远的影响。从长期看,非常规油气资源占油气资源的比例将会越来越大。

3 油气理论、技术发展及油气价格对油气储量产量增长的影响

油气地质理论的发展对油气储量、产量增长的贡献是长期的、显著的。我国 20 世纪 50 年代的石油勘探战略东移,发现大庆油田,使储量增长 20 多亿吨,产量达到几百万吨,是典型的地质新理论、新

表 5 常规、非常规油气资源发布规律、潜力和开发现状

Table 5 Resources potentiality, allocation regular and developing level of conventional and un conventional oil and gas

位置	源岩区				运移区		圈闭区				散失区	多区分布		
	资源类型	油页岩	煤层气	砂岩透镜体油	泥岩裂缝油	页岩气	水溶气	致密油气	低渗油气	重油	常规油	常规气	油砂	生物气
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0.5	生物降解													
0.7	生物降解热解													
1.3	热解													
2.0	裂解干气													
可采资源潜力	120	11	不清	不清	不清	不清	分枝	212(石油)、22(天然气)				23	不清	
开发情况	国外少量	开发	开发	少量	开发	开发	开发			开发			开发	开发
	国内少量	起步	开发	量	未	未	少量						起步	开发

注: 石油: 亿吨; 天然气: 万亿立方米

认识引起对盆地资源潜力认识的变化, 并指导了勘探的新突破。技术进步则不断拓展油气勘探开发新领域, 钻探深度不断增加, 勘探领域从陆上到浅海、深海, 储量、产量也随之不断增加。

3.1 油气理论进步对储量、产量增长的贡献

3.1.1 由海相生烃理论到陆相生烃理论

中国近代石油工业从 1878 年开始(石宝珩等, 1999), 到 20 世纪 50 年代初的 70 多年中, 海相生油理论指导油气勘探。由于我国陆相地层发育而海相沉积相对缺乏, 故在 20 世纪中国近代石油工业开始萌芽时期, 来我国进行研究的一些外国学者得出“中国贫油”论(Fuller M.L., 1919)。我国学者在石油地质调查过程中发现了大量的陆相生油的迹象和事实, 逐步认识到我国西部的一些石油显示产自陆相地层(尹赞勋, 1948), 形成了陆相生油的基本观点, 但理论发展还不成熟, 也仅发现了延长、老君庙和独山子 3 个陆相小油田, 石油地质储量 2900×10^4 t, 年产油仅 7×10^4 t。陆相生油理论在 50 年代得到深入发展走向成熟, 并应用于指导勘探, 我国也建立起了世界上一流的石油工业, 到目前, 我国探明的石油中, 陆相生成的占 95% 以上。

从全球看, 目前陆相含油气盆地年产原油仅占世界石油总产量的约 6%, 其中 80% 以上产自中国。由于中国构造具多旋回性、活动性强、控盆断裂活跃, 因此陆相盆地数量多而面积相对较大, 陆相烃源岩发育, 因而我国陆相石油储、产量均居世界之首, 今后还有相当的潜力。

3.1.2 由背斜成藏理论到岩性地层成藏理论

20 世纪 80 年代以前, 背斜成藏理论一直占据油气成藏理论的统治地位, 并指导油气勘探, 油气勘探目标为背斜等构造圈闭。在勘探实践中, 背斜成藏理论不断丰富, 勘探目标由以背斜为主, 开始向断背斜、断块、潜山等多种类型正向构造拓展。但总体上还是以正向构造为勘探的主要目标。

20 世纪 80 年代以来, 随着勘探实践的深入, 在凹陷区、斜坡区不断有油气藏发现, 岩性、地层成藏理论得到不断发展(胡见义等, 1986), 勘探家也开始主动关注岩性、地层等非构造油气藏的勘探, 勘探领域开始向盆地的凹陷区拓展, 勘探目标从正向构造拓展到凹陷区, 勘探领域进一步扩大(刘震等, 2006)。许多盆地新发现的油气储量中, 岩性地层圈闭中的油气已经占到一半以上(表 6)。

20 世纪 90 年代以来, 成藏动力学研究取得进展, 对流体输导系统预测能力有所提高, 能量场演

表 6 油气理论进步导致资源不断增加

Table 6 Continuous expansion of resource field resulting from progress of exploration technology

时代		50 年代前	50-70 年代	80-90 年代	2000 年以来
理论发展	生烃理论	海相生油			
		陆相生油			
	成藏理论	背斜成藏			
					岩性、地层成藏
资源变化	增加 →				

化机制及其控制的化学动力学过程和流体流动样式研究取得进步, 油气成藏机理研究进一步深化。对深入认识油气成藏机理和过程, 预测有利成藏区提供了理论技术支持(郝芳等, 2001; 王小凤等, 2006)。

3.2 勘探、开发技术进步对储量、产量增长的促进

勘探开发技术的不断进步, 不断拓展勘探开发领域。过去难以涉足的地表和地质条件复杂区、海域深水已经成为勘探的主战场; 低渗、特低渗油气藏的开发技术走向成熟, 成本明显降低, 超低渗透油藏开发技术取得突破, 极大地拓展了油气资源内涵。勘探技术的进步, 过去不能成为资源的、没有技术手段进行勘探开发的、处于特殊赋存状态的油气资源也不断被发现、被证实, 过去没有经济价值的也可以进行经济有效开发利用, 这不但丰富了油气资源类型, 也将增加了油气资源潜力, 带来油气储量、产量的明显增长。

3.2.1 地震技术

20世纪50-70年代末, 地震勘探的主要任务是构造勘探, 提高分辨率的要求尚不迫切。在这个时期, 提高分辨率主要集中在提高地震波的检测精度上。采取解放波形, 突出标准波等方法, 提高反射波对比的可信度, 正确构制剖面图。进入80年代, 随着油气勘探开发程度的提高, 地震勘探不仅要解决一般的构造问题, 还需要查明复杂隐蔽的非背斜圈闭、地层岩性和薄层油气藏, 进而对储层进行横向预测与油藏描述(张德忠, 2000; 张向林等, 2006)。因此, 提出了提高地震分辨率的要求。随着勘探领域不断向大沙漠地区和复杂山地地区扩展, 大沙漠地区地震勘探技术、山地地震勘探技术也得到了长足发展(方朝亮, 2004)。

3.2.2 钻井、测井技术

我国石油钻井能力经过几十年的发展, 取得了

质的飞跃(王关清等, 2000), 不断打开新的勘探领域, 不断拓展新的勘探空间, 带来储量、产量的增长。

钻机能力在1957年前为2000 m, 1957年后, 钻机能力达到3200 m, 60年代中期开始水平井施工, 70年代中期可以钻6000 m深井。80年代以来, 西部地区勘探开发进程加快, 4000 m以上的深井钻井工作增多(陈如恒, 2004)。进入90年代, 钻井技术逐步细化为水平井、多分支水平井、大位移井、深井、超深井、小井眼、连续油管钻井、重入井钻井和欠平衡钻井技术等(张海龙等, 2005)。高温钻井、高压钻井技术在2000年以来进展较快, 对高温高压区油气发现起到了关键作用, 大大拓展了勘探空间。储层保护技术的进步, 使特低渗透和超低渗透油藏勘探取得成功。

近年来, 测井和分析测试技术也在不断发展完善, 新的分析测试技术在石油地质研究及勘探活动中取得了很大进步; 测井技术在石油勘探开发推动下发展迅速, 三分量感应和正交偶极声波等新型成像测井仪器研制成功, 推动了地层各向异性研究; 网络测井作为新一代测井系统, 正在研制和完善; 新型满贯组合测井系统、三分量阵列感应测井仪、油基泥浆电阻率成像测井仪等新型裸眼井测井仪器得到进一步发展(王志章等, 2004; 原宏壮等, 2005); 新型套管电阻率测井仪、新型脉冲中子类测井仪等新的套管井测井仪器不断出现; 随钻核磁共振测井、随钻地层测试等随钻测井系列不断增加; 过套管地层测试、井下永久传感器工艺技术等新的测量工艺技术日趋成熟; 测井-取心联作、套管外取心、动电测井、套管钻井测井等正在加快发展(刘伟新等, 2003)。

地震技术、钻井、测井等技术的进步, 使过去难以发现的油气资源得到发现, 大大拓展了勘探领域(表7), 油气资源潜力和储量产量也相应得到提升。

表7 勘探技术进步使资源领域不断扩大
Table 7 Variation of China's oil and gas resource potential

时代		20世纪 50年代前	20世纪50-70年代	20世纪80-90年代	2000年以来	
勘探 技术	地震勘探	正向构造勘探				
					地层岩性勘探	
					地层层序勘探	
	钻井 能力	钻探深度	< 3000 m	5000 m	7000 m	8000 m
		钻探温、压				高温、高压
		钻探技术	直井			
			水平井、分支井			
		欠平衡				
资源变化		资源不断增加 →				

3.2.3 层序地层理论技术与直接寻找有利圈闭

20 世纪 90 年代, 层序地层学理论和技术取得突破, 借助地震、井筒技术, 可以在多数盆地中较为准确地恢复地层沉积层序, 确定有利成藏区和目标层位, 直接确定岩性地层圈闭, 极大地提高了油气勘探的成功率。我国石油地质学家结合中国陆相盆地发育的实际, 发展了陆相层序地层学理论和分析技术, 并成功应用于勘探实践中, 取得了良好的效果(顾家裕等, 2004)。

3.3 油气需求和价格的影响

需求的影响是长期、基本因素。建国后, 为摆脱石油严重依赖进口, 促使陆相成烃理论成熟, 80 年代经济发展和出口创汇需要, 石油产量明显增加, 1993 年成为净进口国, 供应压力促使石油公司加大勘探开发力度, 2000 年以来油价的持续走高促使石油公司不断加大勘探投入, 投入的不断带来带来了储量的不断发现, 产量持续增加, 也推动理论技术的不断进步。

4 理论技术因素作用特征对比

陆相生烃理论的成功应用, 使我国大量的陆相盆地的资源潜力得到充分认识, 20 世纪 60-70 年代对我国油气资源潜力认识较 50 年代增加 10 倍多; 到 20 世纪 80 年代, 地质理论认识有了长足进步, 特别是岩性、地层油气成藏理论开始发展, 对盆地油气资源的认识由构造带扩展到斜坡带, 并逐步扩展到凹陷带, 对油气资源潜力的认识上了第二个台阶, 较 70 年代增加了近 3 倍(图 4)。

我国石油储量在 20 世纪 60 年代和 80 年代出现了两个增长高峰。其中第一个高峰是大庆油田的发现, 第二个高峰以岩性地层油藏勘探取得突破获得的储量贡献为主。

第二个高峰出现以来, 年探明储量总体表现为稳定增加, 90 年代前期年均在 5-6 亿吨, 90 年代后期因油价偏低出现低谷, 之后年探明储量上升到在 7 亿吨左右, 2002 年以来开始明显增加(图 5)。这种增长, 一是岩性地层油气藏勘探力度明显加大, 松辽盆地、渤海湾盆地济阳坳陷、鄂尔多斯盆地的岩性地层圈闭勘探取得明显效果; 二是技术进步大大拓展了勘探领域, 浅海海域勘探取得突破, 渤海海域、珠江口和北部湾盆地构造圈闭勘探中发现了大批储量; 西部塔里木盆地台盆区勘探突破, 探明储量 10 多亿吨; 三是高油价激发了石油公司的勘探热情, 石油公司勘探投入逐年加大。2002 年以来, 探明储量出现明显增加, 目前基本在 10 亿吨以上, 有出现

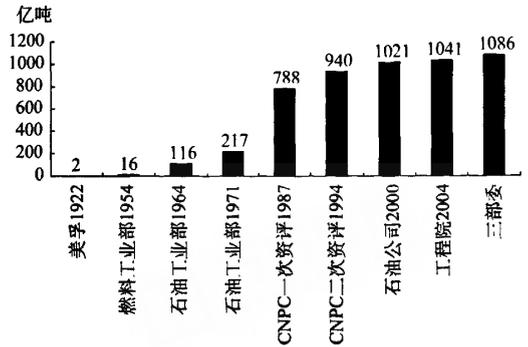


图 4 我国油气资源潜力变化

Fig. 4 Variation regularity of China's explored oil reserves

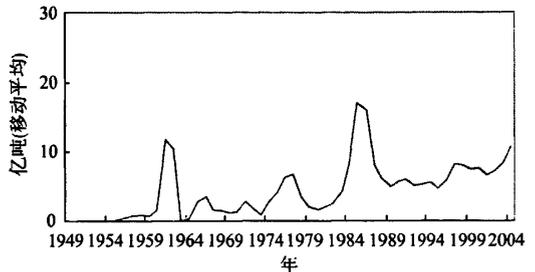


图 5 我国石油探明储量变化规律

Fig. 5 Variation tendency of China's oil output

第三个峰值的趋势。

20 世纪 80 年代第二个储量高峰之后的储量增长, 其影响因素明显增加, 多因素共同作用是储量增长的特点。岩性地层成藏理论的广泛应用、砂岩透镜体成藏理论认识的提出和发展, 三维地震技术在勘探中的广泛应用、钻井深度的大幅度提高和新技术的应用都起到的推动作用。

需求的影响是长期、基本因素。建国后, 为摆脱石油严重依赖进口, 促使陆相成烃理论成熟, 80 年代经济发展和出口创汇需要, 导致石油产量明显增加, 1993 年成为净进口国, 供应压力促使石油公司加大勘探开发力度, 2000 年以来油价的持续走高促使石油公司不断加大勘探投入, 投入的不断带来带来了储量的不断发现, 产量持续增加, 也推动理论技术的不断进步。

5 结论

盆地油气资源潜力直接影响储量发现规模; 油气资源分布的集中程度和圈闭发育特点影响勘探进程; 地质理论进步增长了油气资源潜力、增加油气资源类型, 进而扩大勘探领域; 勘探开发技术进步不断打开勘探禁区; 合理的价格区间是石油产业良性发展的关键。

① 油气地质理论进步是扩大勘探领域、实现储量增长的基础。从海相生油到陆相生油的进步,使勘探领域扩大到陆相盆地;从背斜成藏到地层岩性成藏,使勘探领域从构造带扩大到凹陷区。理论的进步所带来勘探领域扩大和储量增长的成效是最为明显的。但油气地质理论的突破需要大量的研究积累和不断的勘探实践,过程漫长,需要大量科技工作者不断的潜心研究,需要政府不间断的经费支持。

② 勘探、开发技术进步是扩大勘探领域、增加资源类型、实现储量、产量增长的保证。勘探技术的不断进步,实现了勘探领域的扩大,使地层岩性圈闭勘探得以实现,使低渗透和特殊储层勘探取得进步,带来储量的新的增长;开发技术的不断进步,使采收率不断提高、储层渗透率下限不断降低、稠油采收率大幅度提高;

③ 盆地资源潜力、资源分布集中程度影响储量增长规律。资源潜力大、分布的集中性强的盆地储量发现早、增长快;资源潜力大、但分布层系多、中心多的盆地,储量发现具有多阶段、多峰性特点;

④ 盆地圈闭发育特征影响储量发现进程。圈闭发育均衡盆地的储量发现有构造圈闭高峰和地层岩性圈闭高峰两个主要峰值;以岩性圈闭为主的盆地储量发现时间主要在 20 世纪 80 年代以后;构造圈闭为主的盆地,储量发现集中在勘探早中期;以构造-岩性和岩性-构造圈闭为主的盆地,储量发现波动性大,20 世纪 80 年代以后勘探成效较高。

⑤ 理论和技术的进步,使非常规油气资源不断进入勘探开发视野,储量产量不断增长。煤层气、油砂、油页岩、致密砂岩气、页岩气、水溶气等非常规油气资源开始经济有效地开发,不断增加油气资源潜力,增加油气资源的供应能力。

⑥ 合理的价格区间是石油产业良性发展的关键。需求的不断增长、价格的持续走高,使石油公司效益明显增加,对勘探开发工作的投入也不断增加。投入的增加对储量和产量的增长起到了决定性作用。油价的走高也使部分替代能源发展加快,成本不断降低,与石油的竞争能力不断争强,如果达到一定规模,将会给石油产业带来冲击。

参考文献:

- 查全衡, 韩征, 刘殿升. 1999. 中国石油地质的若干特点及其对储量增长的影响[J]. 石油学报, 20(5): 1-6.
- 陈发景, 汪新文, 汪新伟. 2005. 准噶尔盆地的原型和构造演化[J]. 地学前缘, 12(3): 77-89.
- 陈启林, 周洪瑞, 李相博. 2005. 蒙甘青地区早白垩世原型盆地特征及其对烃源岩分布的控制[J]. 地球科学进展, 20(6): 656-662.
- 陈如恒. 2004. 我国钻井装备的技术进展—系列专题之五[J]. 石油机械, 33(6): 1-16.
- 陈业全, 王伟锋. 2004. 准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 28(3): 4-8.
- 陈永武, 何文渊. 2004. 中国西部含油气盆地石油地质条件的主要认识和勘探方向[J]. 石油学报, 25(6): 1-7.
- 陈元千, 田建国. 1998. 哈伯特二次函数的推导与应用[J]. 新疆石油地质, 19(6): 502-506.
- 陈元千. 1996. 对翁氏预测模型的推导及应用[J]. 天然气工业, 16(2): 22-26.
- 范小林, 潘文蕾, 刘光祥. 2005. 扬子地区中生代盆地成盆深部过程及对古生代盆地叠加效果浅析[J]. 海相油气地质, 10(4): 13-21.
- 方朝亮. 2004. 油气地质勘探关键技术展望[J]. 石油科技论坛, 8: 8-14.
- 傅瑞军, 郭元岭. 2003. 探明储量增长影响因素分析[J]. 油气地质与采收率, 10(4): 14-15.
- 葛肖虹, 任收麦, 刘永江, 袁四化. 2006. 中国大型走滑断裂的复位研究与油气资源战略选区预测[J]. 地质通报, 25(9-10): 1022-1027.
- 顾家裕, 张兴阳. 2004. 陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J]. 石油与天然气地质, 25(5): 484-490.
- 郭元岭, 宗国洪, 赵乐强, 高磊, 石红霞. 2001. 中国石油地质储量增长规律分析[J]. 中国石油勘探, 6(2): 16-19.
- 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 2001. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 7(3): 11-21.
- 何登发, 贾承造, 李德生, 张朝军, 孟庆任, 石昕. 2005. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 26(1): 64-77.
- 胡见义, 徐树宝, 刘淑兰. 1986. 非构造油气藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 1-83.
- 胡受权, 郭天平, 邵荣松. 2001. 南襄盆地泌阳凹陷第三纪湖泊演化探讨[J]. 石油学报, 22(5): 23-28.
- 贾承造, 宋岩, 魏国齐, 赵孟军, 柳少波, 李本亮. 2005. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J]. 地学前缘, 12(3): 3-14.
- 刘德来, 陈发景, 关德范, 唐建人; 刘翠荣. 1996. 松辽盆地形成、发展与岩石圈动力学[J]. 地质科学, 31(4): 297-408.
- 刘和甫, 李晓清, 刘立群, 侯高文, 边海军. 2005. 伸展构造与裂谷盆地成藏区带[J]. 石油与天然气地质, 26(5): 537-552.
- 刘和甫, 李晓清, 刘立群, 李小军, 胡少华. 2005. 成藏区带地球动力学与远景圈闭[J]. 地学前缘, 6(2): 468-479.
- 刘和甫, 李晓清, 刘立群, 李小军. 2004. 盆山耦合与前陆盆地成藏区带分析[J]. 现代地质, 18(4): 389-403.
- 刘伟新, 把立强, 张美珍, 蒋启贵, 秦建中, 曹寅. 2003. 石油地质分析测试技术新进展[J]. 石油实验地质, 25(6): 777-782.
- 刘震, 赵政璋, 赵阳, 赵贤正, 肖伟. 2006. 含油气盆地岩性油气藏的形成和分布特征[J]. 石油学报, 27(1): 17-23.
- 柳少波, 宋岩, 洪峰, 傅国友. 2005. 中国中西部前陆盆地烃源岩特征与油气资源潜力分析[J]. 地学前缘, 12(3): 59-66.
- 彭希龄, 梁狄刚, 王昌桂, 戴弹申, 张朝军. 2006. 前陆盆地理论及其在中国的应用[J]. 石油学报, 27(1): 132-144.
- 钱基, 韩征. 2001. 渤海湾盆地与苏北盆地勘探潜力对比研究[J]. 石油勘探与开发, 28(1): 15-18.

- 丘海峻, 许志琴, 乔德武. 2006. 苏北盆地构造演化研究进展[J]. 地质通报. 25(9-10): 1117-1120.
- 沈平平, 赵文智. 2000. 中国石油资源前景与未来 10 年储量增长趋势预测[J]. 石油学报. 21(4): 1-6.
- 石宝珩, 张抗, 姜衍文. 1999. 中国石油地质学五十年[J]. 江汉石油学院学报. 21(3): 1-8.
- 王关清, 李克向, 陈元顿, 周焯辉. 2000. 中国陆上石油钻井科技发展回顾与展望[J]. 石油钻采工艺. 22(1): 1-5.
- 王小凤, 武红岭, 马寅生, 操成杰, 王连庆, 陈宣华, 田晓娟, 张敏, 江波, 尹成明, 张启全, 张永熙. 2006. 构造应力场、流体势场对柴达木盆地西部油气运聚的控制作用[J]. 地质通报. 25(9-10): 1036-1044.
- 王志章, 周新源, 蔡毅, 吴欣松. 2004. 综合录井技术面临的挑战及对策[J]. 测井技术. 28(2): 94-98.
- 翁文波著. 1984. 预测论基础[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 吴国干, 门相勇, 李小地, 曾少华. 2006. 中国石油油气勘探面临的形势与陆上油气资源战略选区的五大领域[J]. 地质通报. 25(9-10): 1017-1021.
- 徐凤银, 彭德华, 侯恩科. 2003. 柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J]. 石油学报. 20(4): 1-6.
- 徐向华, 周庆凡, 张玲. 2004. 塔里木盆地油气储量及其分布特征[J]. 石油与天然气地质. 25(3): 300-303, 313.
- 徐玉高, 杨玉峰. 2004. 中国石油安全战略构想[J]. 中国能源. 26(8): 4-11.
- 闫义, 夏斌, 林舸, 刘宝明, 阎贫, 李忠诚. 2005. 南海北缘新生代盆地沉积与构造演化及地球动力学背景[J]. 海洋地质与第四纪地质. 25(2): 53-61.
- 殷进垠, 刘和甫, 迟海江. 2002. 松辽盆地徐家围子断陷构造演化[J]. 石油学报. 23(2): 26-29.
- 尹赞勋. 1948. 火山爆发白垩纪鱼层及昆虫之大量死亡与玉门石油之生成[J]. 地质论评. 13(1-2): 139.
- 原宏壮, 陆大卫, 张辛耘, 孙建孟. 2005. 测井技术新进展综述[J]. 地球物理学进展. 20(3): 786-795.
- 翟光明. 2004. 中国油气工业可持续发展的思路[J]. 当代石油石化. 12(19): 1-6.
- 张德忠. 2000. 陆上石油勘探地震技术进步 50 年[J]. 石油地球物理勘探. 35(5): 545-558.
- 张海龙, 曹式教, 宋铁民. 2005. 海上欠平衡钻井最新进展与发展趋势[J]. 中国海上油气. 17(1): 52-54.
- 张抗. 1994. 我国未来油气产储量预测[J]. 国际石油经济. 12(1): 18-22.
- 张抗. 2004. 中国克拉通盆地油气成藏特点和勘探思路[J]. 石油勘探与开发. 31(6): 8-13.
- 张万选, 张厚福. 1990. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社. 161-162.
- 张文宾, 陈守田, 周俊宏. 2004. 海拉尔盆地油气分布规律及成藏模式[J]. 大庆石油学院学报. 28(6): 8-10.
- 张向林, 陶果, 刘新茹. 2006. 油气地球物理勘探技术进展[J]. 地球物理学进展. 21(1): 143-151.
- 张智武, 吴世敏, 樊开意, 阎贫. 2005. 南沙海区沉积盆地油气资源评价及重点勘探地区[J]. 大地构造与成矿学. 29(3): 418-424.
- 赵文智, 窦立荣. 2001. 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. 28(1): 1-5.
- 郑求根, 周祖翼, 蔡立国, 陆永德, 曹清古. 2005. 东海陆架盆地中生代构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质. 26(2): 197-201.
- 周总璞, 张抗, 唐跃刚. 2003. 中国石油探明储量变化特点与发展趋势[J]. 新疆石油地质. 24(4): 356-359.

References:

- CHEN Fa-jing, WANG Xin-wen, WANG Xin-wei. 2005. Prototype and tectonic evolution of the Junggar Basin, Northwestern China[J]. Earth Science Frontiers. 12(3): 77-89(in Chinese with English abstract).
- CHEN Qi-lin, ZHOU Hong-rui, LI Xiang-bo. 2005. Characteristics of early Cretaceous prototype basin and its control on source rock in Mongolia-Gansu-Qinghai Area[J]. Advance in Earth Sciences. 20(6): 656-662(in Chinese with English abstract).
- CHEN Ru-heng. 2004. The technical advance of our country drilling equipments—Special topic Sec V[J]. Oil Field Equipment. 33(6): 1-16(in Chinese with English abstract).
- CHEN Ye-quan, WANG Wei-feng. 2004. Structural evolution and pool-forming in Junggar Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China. 28(3): 4-8(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yong-wu, HE Wen-yuan. 2004. Some recognitions of the petroleum geological feature and exploration directions in the western China[J]. Acta Petrolei Sinica. 25(6): 1-7(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuan-qian. 1996. Derivation and application of weng's predication model[J]. Natural Gas Industry. 16(2): 22-26(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuan-qian. 1998. Application and derivation of hubbert's quadratic function[J]. Xinjiang Petroleum Geology. 19(6): 502-506(in Chinese with English abstract).
- CHENG Ye-quan, WANG Wei-feng. 2004. Structural evolution and pool-forming in Junggar Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China. 28(3): 4-8(in Chinese with English abstract).
- FAN Xiao-lin, PAN Wen-lei, LIU Guang-xiang. 2005. On the deep shaping process of Mesozoic-Cenozoic basins and their relative superposition effect to Palaeozoic marine basins in Yangzi Region[J]. Marine Origin Petroleum Geology. 10(4): 13-21(in Chinese with English abstract).
- FANG Chao-liang. 2004. Look into the future of key techniques in petroleum geology exploration[J]. Oil Forum. 8: 8-14(in Chinese).
- Fu Rui-jun, GUO Yuan-ling. 2003. Analysis on factors of influencing the increase of proven reserves[J]. Oil & Gas Recovery Technology. 10(4): 14-15(in Chinese with English abstract).
- Fuller M. L. 1919. Exploration in China [J]. Bull AAPG. 3: 99-116.
- GE Xiao-hong, REN Shou-mai, LIU Yong-jiang, YUAN Si-hua. 2006. Restoration of the large-scale strike-slip faults and prediction of related oil and gas exploration strategic target area in China[J]. Geological Bulletin of China. 25(9-10): 1022-1027(in Chinese with English abstract).
- GU Jia-yu, ZHANG Xing-yang. 2004. Progress in Continental Sequence Stratigraphy and Its Application in Petroleum Exploration and Development[J]. Oil & Gas Geology. 25(5): 484-490(in Chinese with English abstract).

- GUO Yuan-ling, ZONG Guo-hong, ZHAO Le-qiang, GAO Lei, SHI Hong-xia. 2001. Increasing regulations of oil reserve in place of China, China Petroleum Exploration[J]. 6(2): 16-19(in Chinese).
- HAO Fang, ZOU Hua-yao, JIANG Jian-qun. 2001. Dynamics of petroleum accumulation and its advances[J]. Earth Science Frontiers. 7(3): 11-21(in Chinese with English abstract).
- HE Deng-fa, JIA Cheng-zao, LI De-sheng, ZHANG Chao-jun, MENG Qing-ren, SHI Xin. 2005. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology. 26(1): 64-77(in Chinese with English abstract).
- HU Jian-yi, XU Shu-bao, LIU Shu-lan. 1986. Nonstructural Oil and Gas fields[M]. Petroleum Industry Press, 1-83.
- HU Shou-quan, GUO Wen-ping, SHAO Rong-song. 2001. Discussion on tertiary lake evolution of Biyang Fault-Depression in Nanxiang Basin[J]. Acta Petrolei Sinica. 22(5): 23-28(in Chinese with English abstract).
- Jean H. Laherrère. 1997. Production decline and peak reveal true reserve figures[J]. World Oil. 238 (December): 77-80.
- Jean H. Laherrère. 2003. Forecast of oil and gas supply to 2050. Presentation to Petrotech conference. New Delhi, January 9.
- JIA Cheng-zao, SONG Yan, WEI Guo-qi, ZHAO Meng-jun, LIU Shao-bo, LI Ben-liang. 2005. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers. 12(3): 3-14(in Chinese with English abstract).
- L.F. Ivanhoe. 1988. Future crude oil supply and prices[J]. Oil & Gas Journal. 86 (June 30): 146-148.
- LIU De-lai, CHEN Fa-jing, GUAN De-fan, TANG Jian-ren, LIU Cui-rong. 1996. A study on lithospheric dynamics of the origin and evolution in the Songliao basin[J]. Chinese Journal of Geology. 31(4): 297-408(in Chinese with English abstract).
- LIU He-fu, LI Xiao-qing, LIU Li-qun, HOU Gao-wen, BIAN Hai-jun. 2005. Petroleum plays in rift basins and extensional structures[J]. Oil & Gas Geology. 26(5): 537-552(in Chinese with English abstract).
- LIU He-fu, LI Xiao-qing, LIU Li-qun, LI Xiao-jun, HU Shao-hua. 2005. Dynamic classification of petroleum play and prospect trap[J]. Earth Science Frontiers. 6(2): 468-479(in Chinese with English abstract).
- LIU He-fu, LI Xiao-qing, LIU Li-qun, LI Xiao-jun. 2005. Basin-mountain coupling and foreland basin petroleum play analysis[J]. Geoscience. 6(2): 468-479(in Chinese with English abstract).
- LIU Shao-bo, SONG Yan, HONG Feng, FU Guo-you. 2005. Characteristics and resource potential of source rocks in the foreland basins in central and western China[J]. Earth Science Frontiers. 12(3): 59-66(in Chinese with English abstract).
- LIU Wei-xin, BA Li-qiang, ZHANG Mei-zheng, JIANG Qi-gui, QIN Jian-zhong, CAO Yin. 2003. New Technological Advances in Petroleum Exploration[J]. Petroleum Geology & Experiment. 25(6): 777-782(in Chinese with English abstract).
- LIU Zhen, ZHAO Zheng-zhang, ZHAO Yang, ZHAO Xian-zheng, XIAO Wei. 2006. Predominant characteristics of formation and distribution for lithologic reservoirs in petroliferous basin[J]. Acta Petrolei Sinica. 27(1): 17-23(in Chinese with English abstract).
- M. K. Hubbert. 1956. Nuclear energy and the fossil fuels. Publication No. 95. Houston: Shell Development Company, Exploration and Production Research Division.
- M. K. Hubbert. 1967. Degree of petroleum exploration in the United States[J]. AAPG Bulletin. 51(11): 2207-2227.
- PANG X.Q., LI Y.X., JIANG Z.X.. 2004. Key Geological controls on migration and accumulation for hydrocarbons derived from mature source rocks in Qaidam Basin[J]. Journal of Petroleum Science & Engineering. 41(1), 79-96.
- PENG Xi-ling, LIANG Di-gang, WANG Chang-gui, DAI Dan-shen, ZHANG Chao-jun. 2006. Discussion on the theory of foreland basin and its application in China[J]. Acta Petrolei Sinica. 27(1): 132-144(in Chinese with English abstract).
- QIAN Ji, HAN Zheng. 2001. A comparison study on the exploration potential between Bohai Bay basin and Subei basin[J]. Petroleum Exploration and Development. 28(1): 15-18(in Chinese with English abstract).
- QIU Hai-jun, XU Zhi-qin, QIAO De-wu. 2006. Progress in the study of the tectonic evolution of the Subei basin, Jiangsu, China[J]. Geological Bulletin of China. 25(9-10): 1117-1120 (in Chinese with English abstract).
- SHEN Ping-ping, ZHAO Wen-zhi. 2000. Oil resource prospects and reserve forecast in China in next decade[J]. Acta Petrolei Sinica. 21(4): 1-6(in Chinese with English abstract).
- SHI Bao-heng, ZHANG Kang, JIANG Yan-wen. 1999. The fifty years of China petroleum geology[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute. 21(3): 1-8(in Chinese with English abstract).
- T. R. Klett, Donald L. Gautier, Thomas S. Ahlbrandt. 2005. An evaluation of the U.S. geological survey world petroleum assessment 2000[J]. AAPG Bulletin. 89(8): 1033-1042.
- U.S. Geological Survey World Energy Assessment Team. 2000. U.S. geological survey world petroleum assessment
- WANG Guan-qing, LI Ke-xiang, CHEN Yuan-dun, ZHOU Yu-hui. 2000. The Development of China Onshore Drilling Science and Technology-A Review and Its Prospect[J]. Oil Drilling & Production Technology. 22(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- WANG Xiao-feng, WU Hong-ling, MA Yins-heng, CAO Cheng-jie, WANG Lian-qing, CHEN Xuan-hua, TIAN Xiao-juan, ZHANG Min, JIANG Bo, YIN Cheng-ming, ZHANG Qi-quan, ZHANG Yong-shu. 2006. Controls of the tectonic stress field and fluid potential field on hydrocarbon migration and accumulation in the western Qaidam Basin, China[J]. Geological Bulletin of China. 25(9-10): 1036-1044(in Chinese with English abstract).
- WANG Zhi-zhang, ZHOU Xin-yuan, CAI Yi, WU Xin-song. 2004. On how to meet the challenge of current integrative logging techniques[J]. Well Logging Technology. 28(2): 94-98(in Chinese with English abstract).

- Warren Davis. 1958. A study of the future productive capacity and probable reserves of the u.s.[J]. Oil & Gas Journal. 56 (February 24): 105-119(in Chinese with English abstract).
- WEN Wen-bo. 1984. Basement of Forecasting Theory. Petroleum Industry Press.
- Werner Zittel, Jörg Schindler. 2002. Future world oil supply. paper presented to international summer school on the politics and economics of renewable energy. University of Salzburg. July 15.
- WU Guo-gan, MEN Xiang-yong, LI Xiao-di, ZENG Shao-hua. 2006. Situation facing PetroChina's oil and gas exploration and direction of onshore oil and gas resources strategic area selection[J]. Geological Bulletin of China. 25(9-10): 1017-1021(in Chinese with English abstract).
- XIU Xiang-hua, ZHOU Qing-fan, ZHANG Ling. 2004. Oil and gas reserves and their distribution in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology. 25(3): 300-303: 313(in Chinese with English abstract).
- XU Feng-yin, PENG De-hua, HOU En-ke. 2003. Hydrocarbon accumulation and exploration potential in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica. 20(4): 1-6(in Chinese with English abstract).
- XU Yu-gao, YANG Yu-feng. 2004. The strategy framework for china's oil security. Energy of China[J]. 26(8): 4-11(in Chinese with English abstract).
- YAN Yi, XIA Bin, LIN Ge, LIU Bao-ming, YAN Pin, LI Zhong-cheng. 2005. The sedimentary and tectonic evolution of the basins in the north margin of the south china sea and geodynamic setting[J]. Marine Geology & Quaternary Geology. 25(2): 53-61(in Chinese with English abstract).
- YIN Jin-yin, LIU He-fu, CHI Hai-jiang. 2002. Evolution and gas-accumulation of xujiaweizi fault depress in songliao basin[J]. Acta Petrolei Sinica. 23(2): 26-29(in Chinese with English abstract).
- YIN Zhan-xun. 1948. Volcanic eruption, fish layer forming and mass mortality of insects in Cretaceous and there relation to petroleum genesis in Yumen Region[J]. Geological Review. 13(1-2): 139(in Chinese with English abstract).
- YUAN Hong-zhuang, LU Da-we, ZHANG Xin-yun, SUN Jian-meng. 2005. An overview of recent advances in well logging technology[J]. Progress In Geophysics. 20(3): 786-795(in Chinese with English abstract).
- ZHA Quan-heng, HAN Zheng, LIU Dian-sheng. 1999. Characteristics of petroleum geology in china and their influences to reserve growth[J]. Acta Petrolei Sinica. 20(5): 1-6(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Guang-ming. 2004. Think about sustainable development of china's oil & gas industry[J]. Petroleum & Petrochemical Today. 12(19): 1-6(in Chinese).
- ZHANG De-zhong. 2000. 50 Years of technical progress in land petroleum seismic exploration[J]. Oil Geophysical Prospecting. 35(5): 545-558(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hai-long, CAO Shi-jing, SONG Tie-min. 2005. Recent advance and development trend of offshore under-balanced drilling[J]. China offshore Oil and Gas. 17(1): 52-54(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Kang. 1994. A forecast of the future production and reserves of chinese oil and gas[J]. International Petroleum Economics. 2(1): 18-22(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Kang. 2004. Oil and gas accumulation in craton basins of china and exploration strategy[J]. Petroleum Exploration and Development. 31(6): 8-13(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wan-xuan, ZHANG Hou-fu. 1990. Petroleum geology[M]. Petroleum Industry Press, 161-162.
- ZHANG Wen-bin, CHEN Shou-tian, ZHOU Jun-hong. 2004. Oil-gas accumulation model analysis in Hailaer Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute. 28(6): 8-10(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xiang-lin, TAO Guo, LIU Xin-ru. 2006. Progress in oil geophysical exploration[J]. Progress in Geophysics. 21(1): 143-151(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi-wu, WU Shi-min, FAN Kai-yi, YAN Pin. 2005. Evaluation of hydrocarbon resources and key exploration areas in nansha block, southern south china sea[J]. Geotectonica Et Metallogenia. 29(3): 418-424(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Wen-zi, DOU Li-rong. 2001. Potential, distribution and exploration strategy of petroleum resources remained onshore China[J]. Petroleum Exploration and Development. 28(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Qiu-gen, ZHOU Zu-yi, CAI Li-guo, LU Yong-de, CAO Qing-gu. 2005. Meso-Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea shelf basin[J]. Oil & Gas Geology. 26(2): 197-201(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Zong-ying, ZHANG Kang, TANG Yue-gang. 2003. Analysis of the change characteristics and development trend of proven oil reserves in china[J]. Xinjiang Petroleum Geology. 24(4): 356-359(in Chinese with English abstract).