

文章编号: 0253-9985(2007)01-0001-11

中国石油地质学的创新之路

李德生

(中国石油天然气股份有限公司 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 建国以来, 经过几代石油人的艰苦探索与努力, 中国已建设成为一个石油生产大国。中国油气勘探开发不断提出石油地质的新问题。通过认识和解决这些问题, 不断丰富中国的石油地质新理论。这些理论主要涉及: 1) 陆相油气的形成与富集规律; 2) 复式油气聚集(区)带的成矿规律; 3) 低-特低渗透储层的勘探开发; 4) 古潜山油气藏; 5) 煤成烃的研究与实践; 6) 海相古生界油气勘探的突破; 和 7) 前陆盆地逆掩推覆带油气勘探的新进展。在当前能源供需矛盾的形势下, 中国石油地球科学工作者将作出新努力, 在陆地和海洋勘探开发更多的新油气田, 特别是大油气田, 为中国石油工业的持续发展和石油地质理论的创新作出新的贡献。

关键词: 陆相生油; 复式油气带; 特低渗透储层; 古潜山; 煤成烃; 海相古生界; 逆掩推覆带; 石油地质学

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Innovation of petroleum geology in China

Li Desheng

(Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract Since the foundation of People's Republic of China in 1949, several generations of petroleum man have generously exerted their efforts on the development of Chinese petroleum industry and have successfully reshaped China into one of the major oil producing countries in the world. Despite the fact that new issues have never stopped showing up during the exploration of oil and gas in China, the petroleum theories have been renewed and enriched through addressing these challenges. The theories are mainly concerning: 1) formation and accumulation pattern of continental oil and gas reservoirs; 2) distribution pattern of composite hydrocarbon accumulation belts (zones); 3) exploration and development of low and ultra-low permeability reservoirs; 4) buried hill hydrocarbon reservoirs; 5) research and exploration of coal-derived hydrocarbon; 6) exploration of the Palaeozoic marine reservoir; and 7) thrust belt exploration of foreland basins. Under the current circumstance of unstable energy supply and sharply increasing demand, Chinese petroleum geoscientists will continue playing important role in the discovery of onshore and offshore oil/gas fields, especially the large and giant ones, and contribute more to a sustainable development of Chinese petroleum industry and innovation of petroleum geological theories.

Key words terrestrial origin of hydrocarbon; composite hydrocarbon belt; ultra-low permeability reservoir; fossil buried hill; coal-derived hydrocarbon; Palaeozoic marine strata; thrust belt; petroleum geology

中国石油地质学的发展经历了艰苦的探索与努力, 遵循的原则是: “理论来源于实践, 理论又是为实践服务的。”从西部的延长油矿、玉门油矿到东部的大庆油田、吉林油田和二连盆地, 从渤海湾

盆地的胜利、大港、辽河、华北、中原、冀东油田和渤海海域到东南沿海的大陆架、中部的四川和鄂尔多斯盆地油气区, 再到西部的准噶尔、塔里木、吐哈、柴达木、河西走廊等油气区和青藏高原等地

收稿日期: 2006-11-13

作者简介: 李德生 (1992-), 男, 中国科学院院士、教授级高级工程师, 石油地质

区,都布满了中国石油勘探队伍和科技工作者的足迹^[1]。

1949年我国年产原油 12×10^4 t, 2005年增加到 $18\,100 \times 10^4$ t, 增长了 1 508 倍。天然气年产量由 0.1×10^8 m³ 增加到 500×10^8 m³, 增长了 5 000 倍。探明油气储量亦相应有大幅度的增长(图 1)。

中国的油气勘探开发不断提出石油地质的新问题。通过认识和解决这些问题,不断丰富了中国石油地质学的理论。

国石油地质学的理论。

1 陆相油气的形成与富集规律

中国克拉通自晚二叠世海水退出中朝地台、中三叠海水退出扬子地台以后,在中、新生代地质时期,湖相沉积广泛发育。因此,我国陆相沉积盆地具有规模大、时间长、类型多、沉积厚和有机质丰富的特点^[2]。

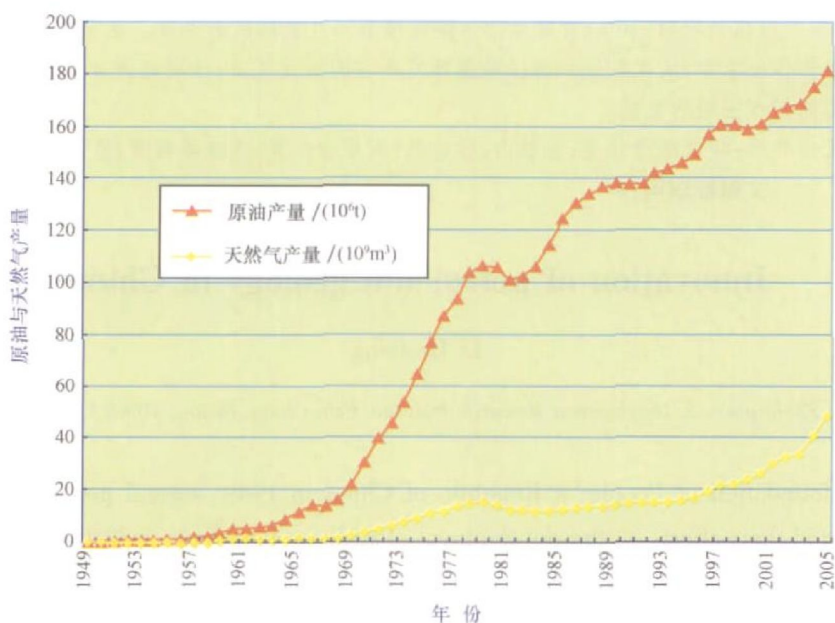


图 1 1949—2005年全国原油与天然气年产量

Fig. 1 China's annual production of crude oil and natural gas from 1949 to 2005

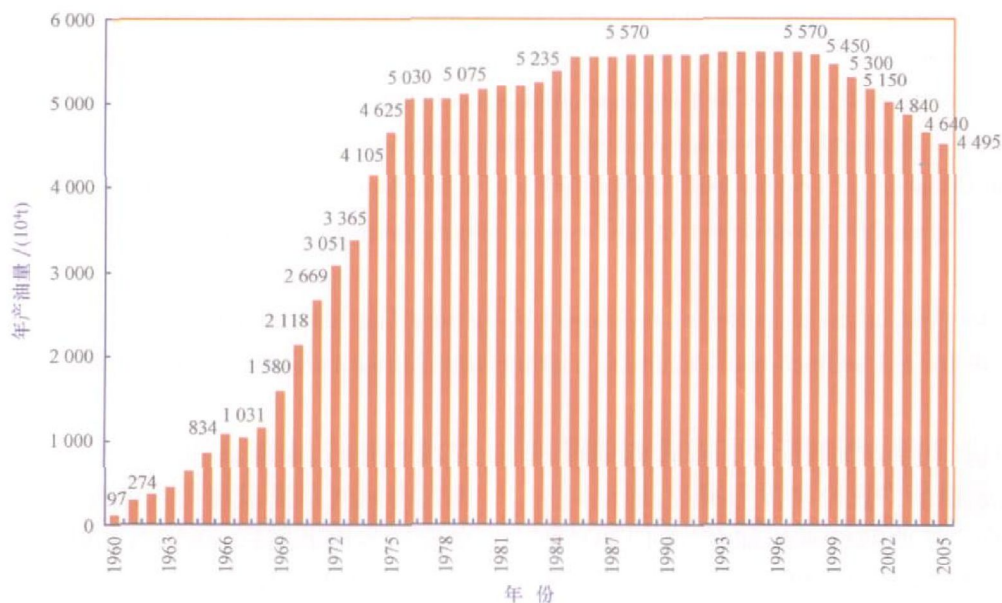


图 2 大庆油区年产量

Fig. 2 Annual oil production in Daqing oil-producing region

我国已发现和开发数百个陆相油所田。目前我国石油产量的 90%、天然气产量的 50% 均产自陆相油气田。

大庆油田的发现和开发不仅证实了陆相盆地能形成油气, 而且证实了陆相油气可以聚集形成超级大油田。大庆油田年产油量自 1976 年起都在 $5\,000 \times 10^4$ t 以上, 其产油量高峰期保持了 27a 自 2003 年开始, 年产油量缓慢下降。大庆油田历

年累计产油量已达 18.6×10^8 t (130×10^8 bbl) (图 2)。

2 复式油气聚集(区)带的成矿规律

渤海湾盆地是一个复杂的断块油田, 其丰富的油气资源都聚集在比较复杂的圈闭之中, 勘探难度较大^[3]。指导渤海湾盆地的勘探理论和技术是:

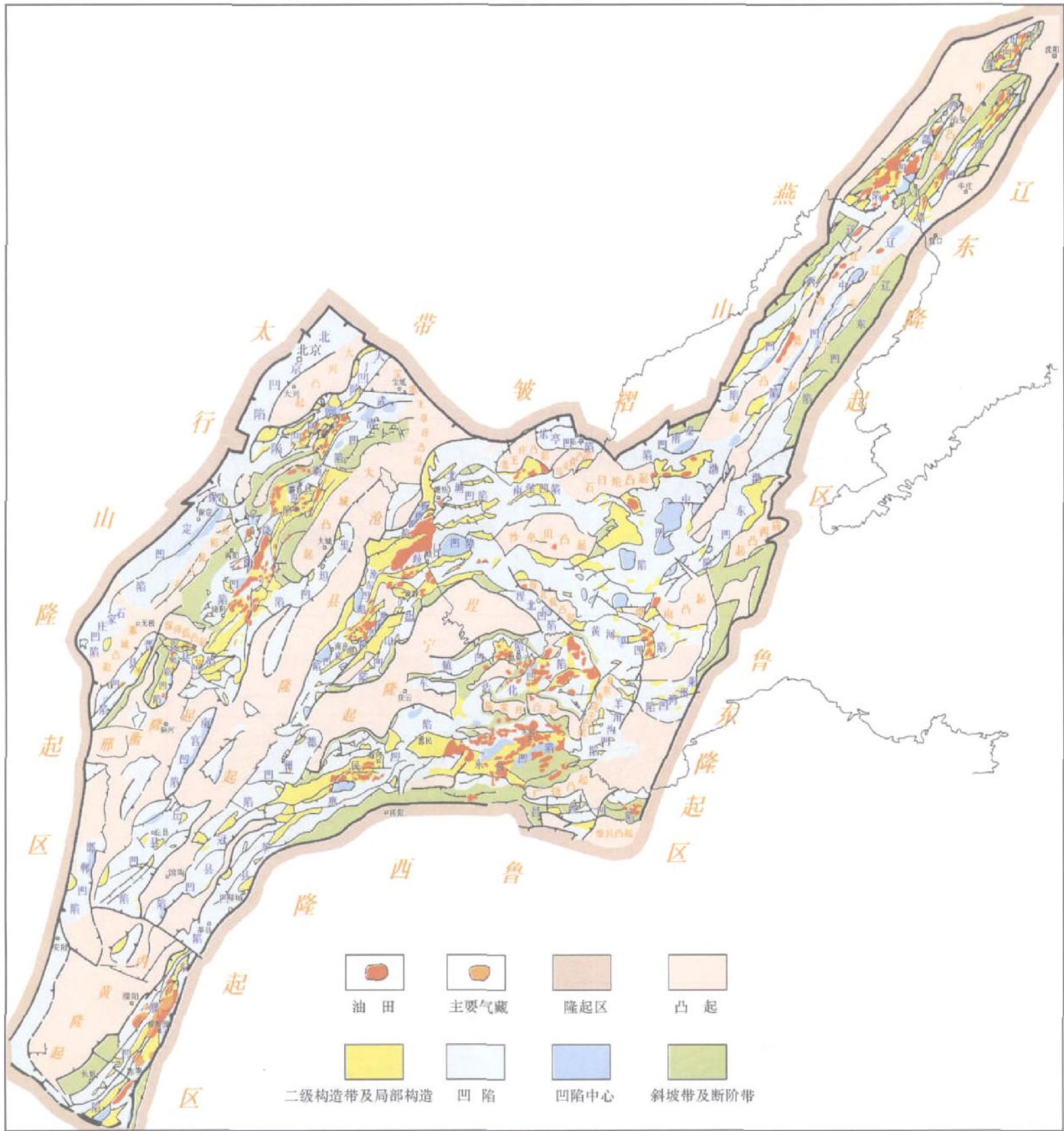


Fig.3 Sketch map of the oil and gas exploration trend in Bohai Bay Basin

1) 源控论——每个有利的古近纪生油凹陷都是一个油气富集区;

2) 复式油气聚集(区)带——这是控制油气分布的主要形式,它主要包括中央背斜带、低潜山构造带、高凸起构造带、同生断层及滚动背斜带、斜坡构造带和凹槽内各类砂体岩性带(图 3、图 4);

3) 三维地震——这是了解断层系统和寻找高产富集断块的重要技术。

渤海湾盆地 2005 年产量为 $6\,502 \times 10^4$ t 产气量为 25.8×10^8 m³。自 1985 年以来,年产油 $5\,000 \times 10^4$ t 以上的产量高峰期已保持了 21a 历年累计产油量为 17.2×10^8 t (120.5×10^8 bbl), 累计产气量为 857×10^8 m³ (图 5)。

3 低-特低渗透储层的勘探开发

鄂尔多斯盆地为我国低-特低渗透储层勘探

开发的实例^[4]。晚三叠世,淡水湖泊沉积了有生油能力的黑色泥岩和油页岩,总厚度约 300~400 m,分布面积约 9×10^4 km²,成为盆地中生代的主要烃源岩。湖盆边缘发育的三角洲前缘砂体、分流河道砂体及水下扇中、扇端砂体,均成为主要储集相带。延长组砂岩成岩后生作用强烈,原生粒间孔含量低,以浊沸石、长石和碳酸盐矿物的次生溶孔占重要地位。

截至 2005 年年底,陕西延长油矿管理局对上述低-特低渗透油藏累计探明石油地质储量 $5.162\,3 \times 10^8$ t 采油井数 11 397 口,年产油量 330×10^4 t 平均单井日产油量 0.553 t 历年累计采油量 $1\,851 \times 10^4$ t 在实践过程中,摸索出一套因地制宜、适应特低渗透浅油藏勘探开发的工艺技术。1907—1952 年,采用顿钻钻井、裸眼完井、提捞采油,每年只能钻几口油井,钻井井深平均 150 m,年采油量 1 000 t 以下,只能保持很低的生产水平。1953—1970 年,采用爆炸油层增产,加深

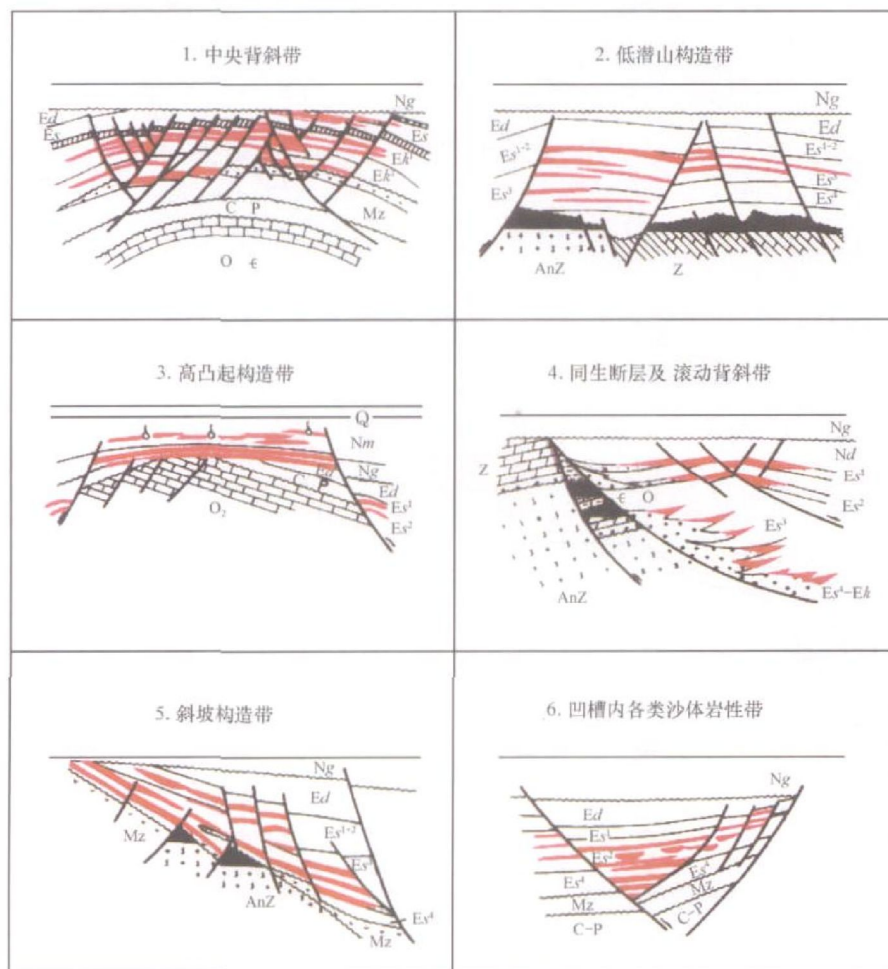


图 4 渤海湾含油气盆地复式油气聚集带类型

Fig. 4 Types of composite hydrocarbon accumulation belts in Bohai Bay Basin

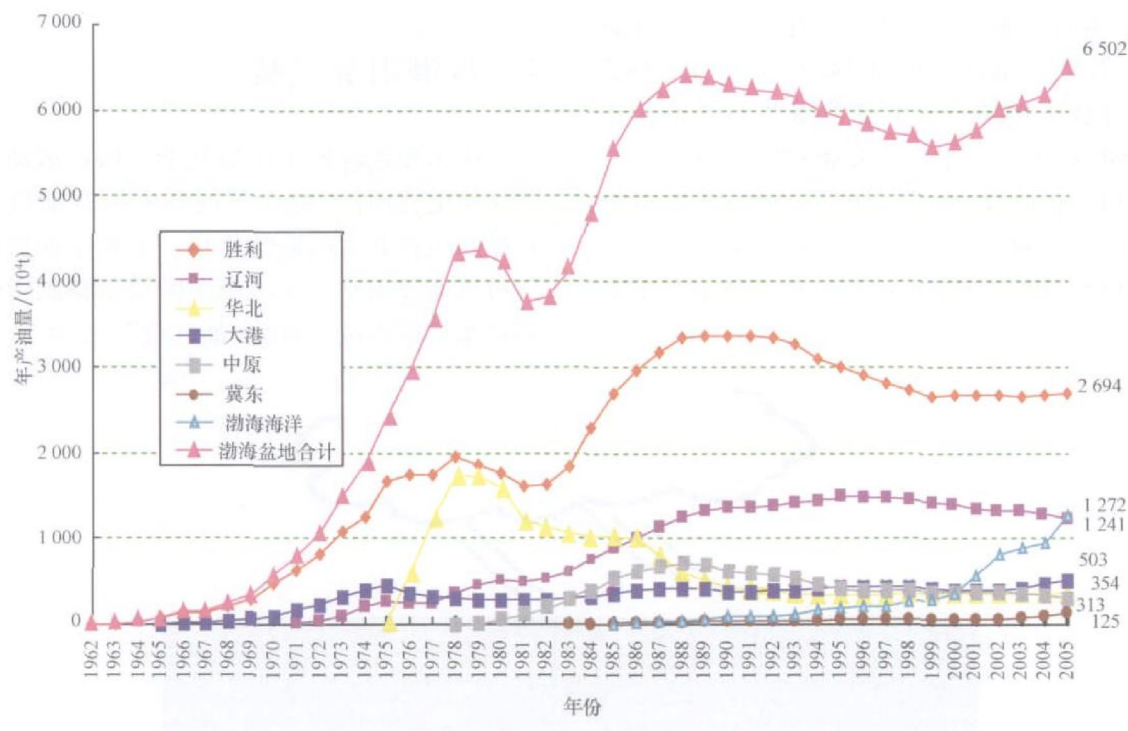


图 5 渤海湾盆地历年开采曲线

Fig. 5 Recovery curves of Bohai Bay Basin over the years

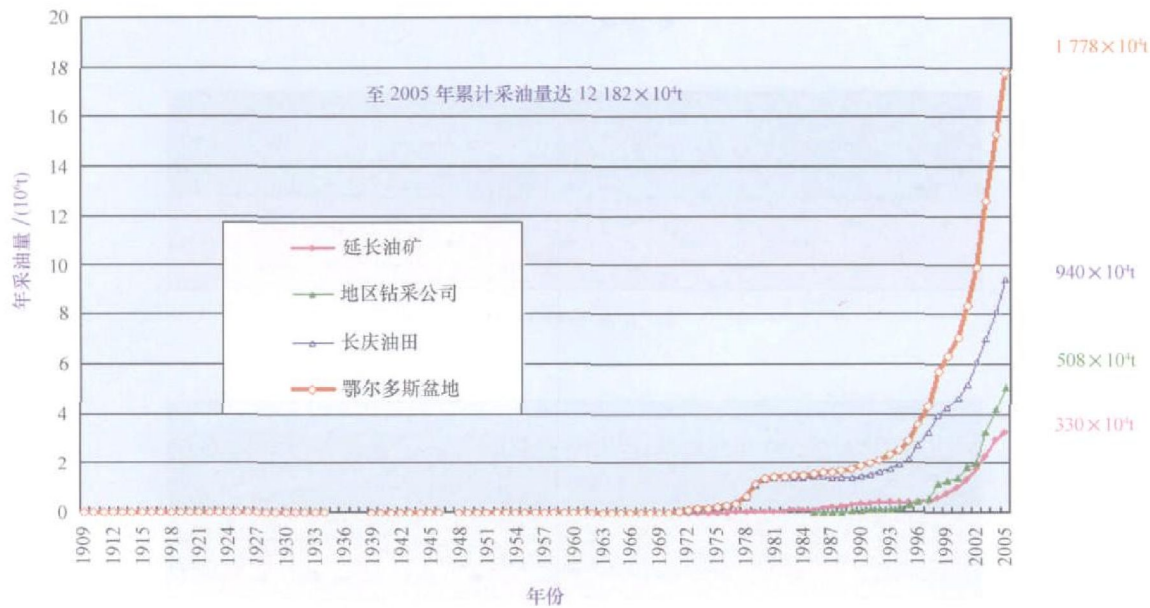


图 6 鄂尔多斯盆地中生界低-特低渗透油藏百年开采曲线

Fig. 6 Recovery curves of the Mesozoic low and ultra-low permeability reservoirs in Ordos Basin

新层接替, 每年能钻几十口油井, 平均井深 300 m, 旺油井安装抽油机, 低产井提捞采油, 年产油量逐步达到 1×10^4 t 以上。1971 年以后, 延长油矿配备了压裂车, 开始实施油层水力压裂增产措施, 采用旋转钻井、套管固井、射孔完成、加砂压裂等措施, 2000 年延长油矿 8 个采油厂年产油量达到 100×10^4 t 以上。

自 1985 年开始, 先后有延安、榆林两地区 14 个县 (区) 钻采公司累计探明石油地质储量 4.39×10^8 t, 2005 年共采油 507.6×10^4 t, 历年累计采油 2229×10^4 t。2005 年, 延长石油 (集团) 公司共生产原油 838×10^4 t, 历年累计采油 4180×10^4 t, 油井总数为 22 700 余口。

中国石油天然气股份有限公司长庆石油勘探

局在鄂尔多斯盆地西部已开发下侏罗—上三叠油田 37 个, 探明石油地质储量 14.37×10^8 t。2005 年, 采油井数达 9 000 余口, 平均单井日产油 3 t; 年采油 940×10^4 t; 历年累计采油 $8\,002 \times 10^4$ t。加上陕西延长石油(集团)公司的采油量, 鄂尔多斯盆地 2005 年产油量达到 $1\,778 \times 10^4$ t; 累计产油量达到 $12\,182 \times 10^4$ t; 为老区的经济建设做出了重要贡献(图 6)。

4 古潜山油气藏

中国板块经历了比较复杂的构造运动和地质演化历史, 各种不整合面下的基岩抬升部位经历了长期的风化和古喀斯特作用。上覆生油层中的油气可以通过不整合面或油源断层运移到古老的基岩储集层中形成“古潜山油气藏”^[5](图 7)。

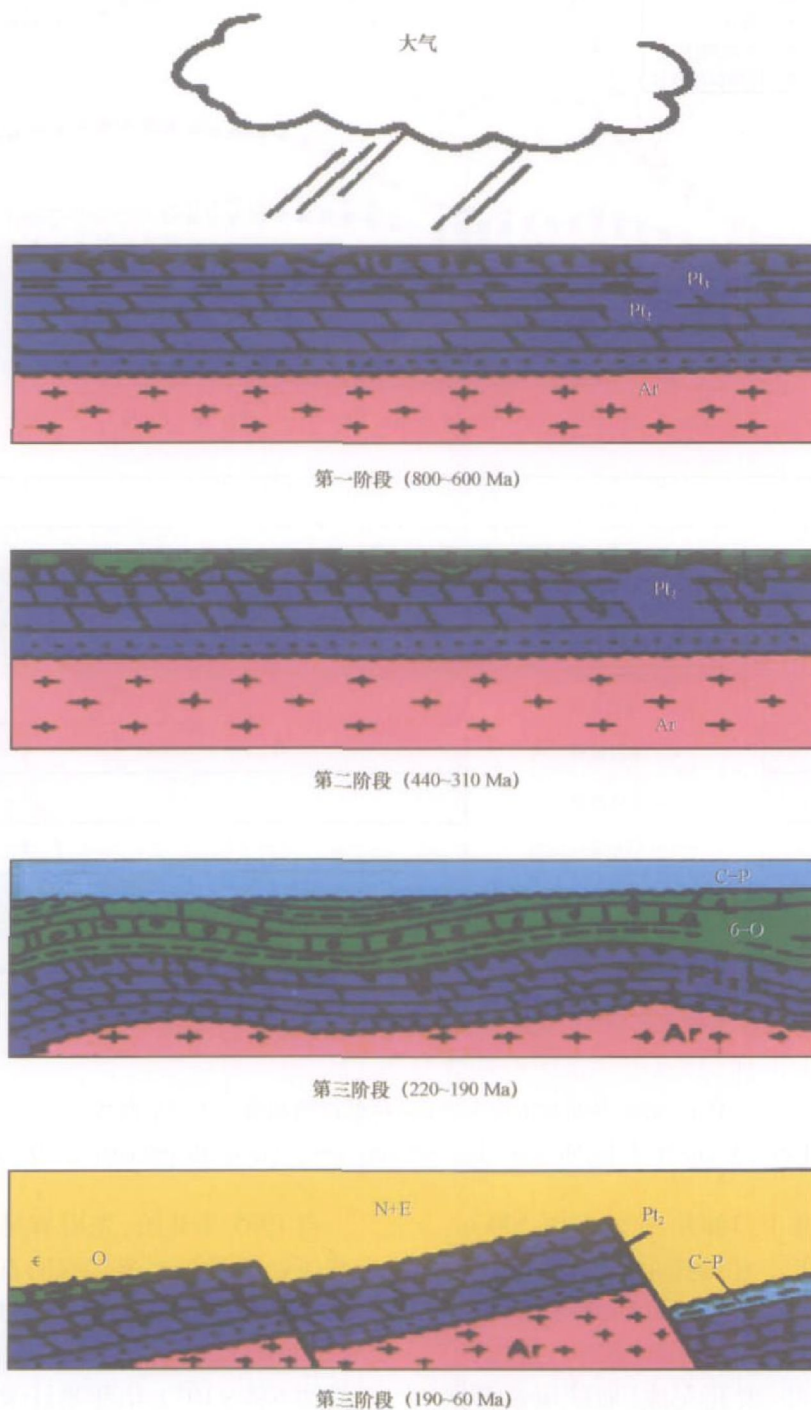


图 7 渤海湾盆地倾斜断块—潜山古喀斯特风化淋滤时期

Fig. 7 Paleokarst weathering and leaching periods of tilted fault blocks and buried hills in Bohai Bay Basin

自 1960 年到现在, 我国在东部渤海湾盆地、松辽盆地、北部湾盆地, 中部鄂尔多斯盆地和西部酒泉盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地已发现各类古潜山油气藏 60 多个。著名的如冀中坳陷 1975 年发现的任丘古潜山高产油田, 储层为中元古界蓟县系雾迷山组白云岩, 初期单井日产油量在 1 000~3 000 t 之间, 历年累计产油量为 1.27×10^8 t (8.9×10^8 bbl)。1984 年, 在辽河坳陷发现了静安堡潜山油藏, 储层是元古界石英岩及太古界片麻岩, 初期单井日产油数百吨, 历年累计产油量为 $3 552 \times 10^4$ t。2005 年在大庆油田东侧探明的徐深气田, 储层为侏罗-白垩系火山岩系, 已探明含气面积 110 km², 天然气地质储量为 $1 018 \times 10^8$ m³, 亦具有古潜山地质特点。

在南沙群岛海域第三系下伏的花岗岩潜山, 均获得高产油气流。古潜山油气藏仍将成为新世纪中国陆上和海域油气勘探开发的主要圈闭类型之一。

5 煤成烃的研究与实践

中煤系地层发育, 有早石炭世、石炭-二叠纪、晚二叠世、早三叠世、晚三叠世、早-中侏罗世、晚侏罗世和第三纪等 8 个聚煤期, 大型含煤盆地众多, 煤炭储量和产量均位居世界前列。

我国天然气地质学家和地球化学家认为, 煤系地层腐殖型有机母质在其转化过程中, ④ 型干酪根可形成煤成油, ④ 干酪根可形成煤成气, 煤成气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 比油型气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值重 7‰ 左右^[6]; 煤成烃可以聚集在煤系地层储集层内, 亦可运移聚集到其上部或下部的其他层系储集层内。

近年来, 我国发现的煤成烃重要油气田有以下各地区。

1) 吐鲁番盆地, 主要油田均为中-下侏罗统煤系生烃岩和储油砂岩。2005 年产油量为 198.7×10^4 t; 历年累计产油量达 $3 169.5 \times 10^4$ t。

2) 准噶尔盆地, 沙漠中部的彩南、石西、石南、莫北、陆梁和沙北等油田是中-下侏罗统煤系地层为生烃岩, 白垩系和中、下侏罗统砂岩及石炭系基岩为储集岩。2005 年产油量为 359.8×10^4 t; 历年累计产油量达 $3 046 \times 10^4$ t。

3) 塔里木盆地, 库车前陆盆地克拉 2 大气田、

迪那 2 气田等均是侏罗系煤系地层为生烃岩, 白垩-古近系砂岩为储集岩, 埋深 3 500~4 000 m, 为西气东输主力气田。2005 年探明天然气地质储量 $3 648 \times 10^8$ m³, 已投产。2005 年产天然气 40×10^8 m³。

4) 鄂尔多斯盆地, 上古生界石炭-二叠系苏里格大气田。鄂尔多斯盆地中、北部发育 4 条从北向南展布的上古生界河流三角洲复合砂岩体, 石炭系本溪组、太原组和二叠系山西组、下石盒子组内共有 10 段低渗透含气砂岩组。2005 年, 苏里格、大牛地等气田探明天然气地质储量 $8 280 \times 10^8$ m³, 展示了巨大的勘探潜力, 石炭-二叠系煤系地层为烃源岩, 气层埋深在 2 500~3 000 m, 已开始逐步投入开发。

6 海相古生界油气勘探的突破

1) 四川盆地

四川盆地主要含气层为震旦系、石炭系、二叠系和三叠系等海相碳酸盐岩^[7~10]。经过几代石油人的艰辛努力, 目前四川盆地已建成我国第一个主要产气区。近期在中国石油天然气股份有限公司和中国石油化工股份有限公司的协同勘探开发下, 正在开发的有 118 个气田, 2005 年产气量为 141×10^8 m³, 历年累计产气量为 $2 520 \times 10^8$ m³, 探明天然气地质储量 $12 327 \times 10^8$ m³ (图 8)。四川气田以构造圈闭为主, 共有 259 个地面构造和 490 个地下隐伏构造。近年来, 由于二维和三维数字地震勘探技术的发展, 攻克了川东高陡背斜带的成像解释技术, 海相石炭系和下三叠统飞仙关组鲕粒滩灰岩天然气的勘探开发工作取得了持续发展的前景, 其中普光气田探明地质储量 $2 510 \times 10^8$ m³ (图 9)。

2) 鄂尔多斯盆地

1989 年在靖边一带发现长庆大气田 (又称中部气田), 目前气藏探明面积 6 651 km², 天然气地质储量为 $6 230 \times 10^8$ m³。通过靖边至北京、靖边至西安、靖边至宁夏、靖边至榆林、靖边至上海等天然气管道, 2005 年产气 72×10^8 m³, 历年累计产气 326×10^8 m³。天然气储集层为下奥陶统马家沟组白云岩风化壳, 埋深 3 000~3 500 m; 生气层一部分来自上覆的中石炭统煤系地层, 另一部分来自中、上奥陶统海相地层, 为混源气。

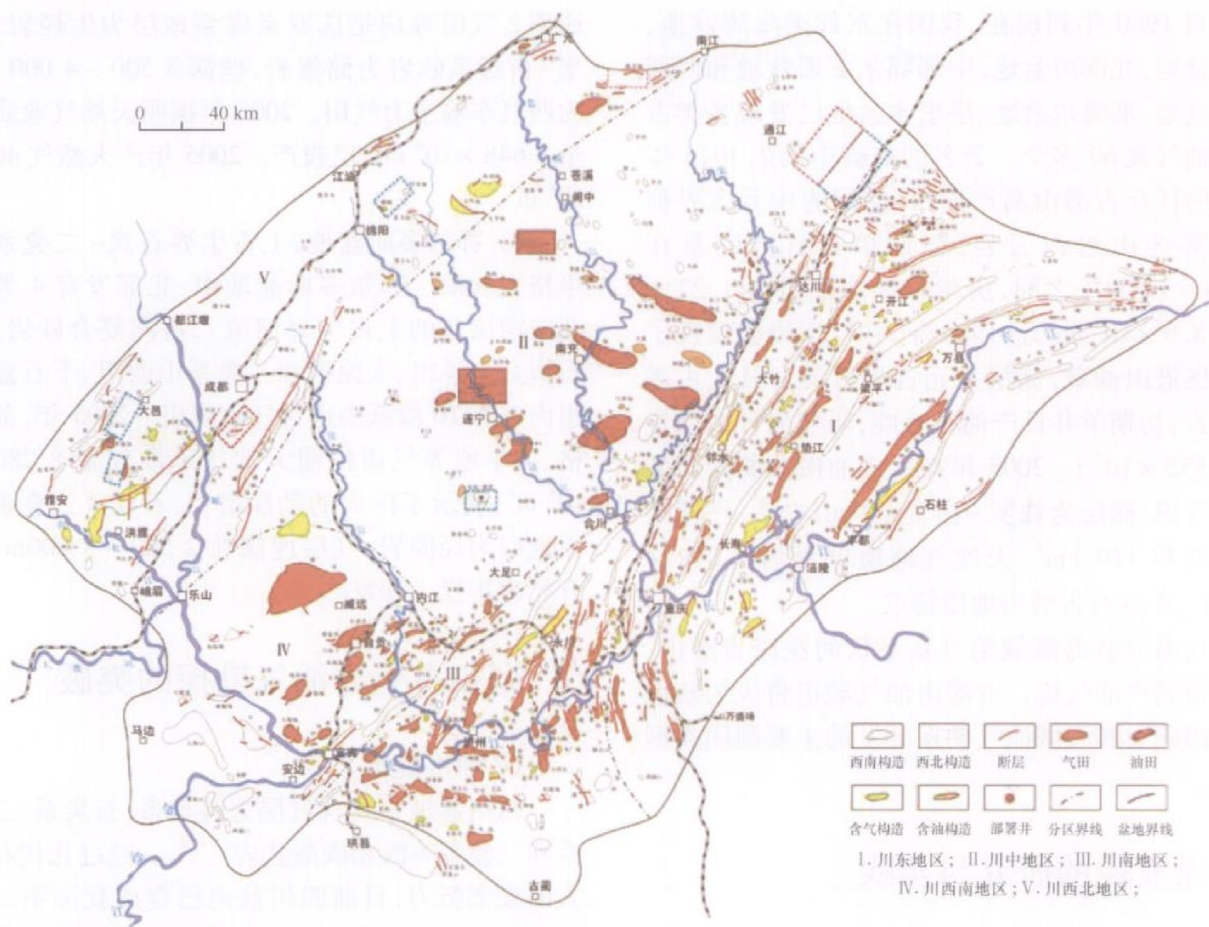


图 8 四川盆地油气田分布

Fig. 8 Distribution of oil and gas fields in Sichuan Basin

3) 塔里木盆地

塔里木盆地面积 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国陆上最大的沉积盆地, 陆相和海相都有烃源岩, 石油和天然气蕴藏都很丰富 (图 10)。生烃岩为寒武-奥陶系海相地层及石炭系海相地层; 储油层是奥陶系碳酸盐岩, 志留系、泥盆系和石炭系砂岩以及石炭系碳酸盐岩。

塔中 4 油田, 1992 年被发现, 在塔克拉玛干大沙漠中央, 储层为石炭-泥盆系砂岩及碳酸盐岩, 埋深 3 500~3 700 m, 探明含油面积 21.4 km^2 , 石油地质储量 $3 725 \times 10^4 \text{ t}$; 2005 年采油 $78 \times 10^4 \text{ t}$; 历年累计产油 $1 298 \times 10^4 \text{ t}$ (图 11)。

塔河油田, 1996 年被发现, 储层为下奥陶统碳酸盐岩, 埋深 5 400~5 700 m, 探明含油面积 841 km^2 , 石油地质储量 $62 213 \times 10^4 \text{ t}$; 2005 年采油 $398 \times 10^4 \text{ t}$; 历年累计产油 $1 821 \times 10^4 \text{ t}$ 。

哈得 4 油田, 1998 年被发现, 为东河砂岩地层岩性油藏, 埋深 5 000 m, 探明含油面积 168 km^2 ,

石油地质储量 $8 202 \times 10^4 \text{ t}$; 2005 年采油 $196 \times 10^4 \text{ t}$; 历年累计产油 $607 \times 10^4 \text{ t}$ 。

7 前陆盆地逆掩推覆带油气勘探的新进展

我国中西部地区共有 11 个前陆盆地, 逆掩推覆带具有油气勘探的重要意义^[11~14]。

1) 酒泉盆地南缘祁连山逆掩推覆带, 已发现玉门老君庙、石油沟、鸭儿峡等油田。近期发现青西油田 (图 12), 深埋在祁连山逆掩推覆带下盘。2005 年玉门各油田共产油 $77 \times 10^4 \text{ t}$; 其中青西油田产油量为 $47 \times 10^4 \text{ t}$ 。

2) 塔里木盆地天山南缘逆掩推覆带, 已发现依希克里克油田。近期发现的克拉 2 大气田及迪那 1 和迪那 2 气田是西气东输的主力气田。

3) 准噶尔盆地天山北缘逆掩推覆带, 已发现独山子油田。近期发现呼图壁气田、卡因迪克油

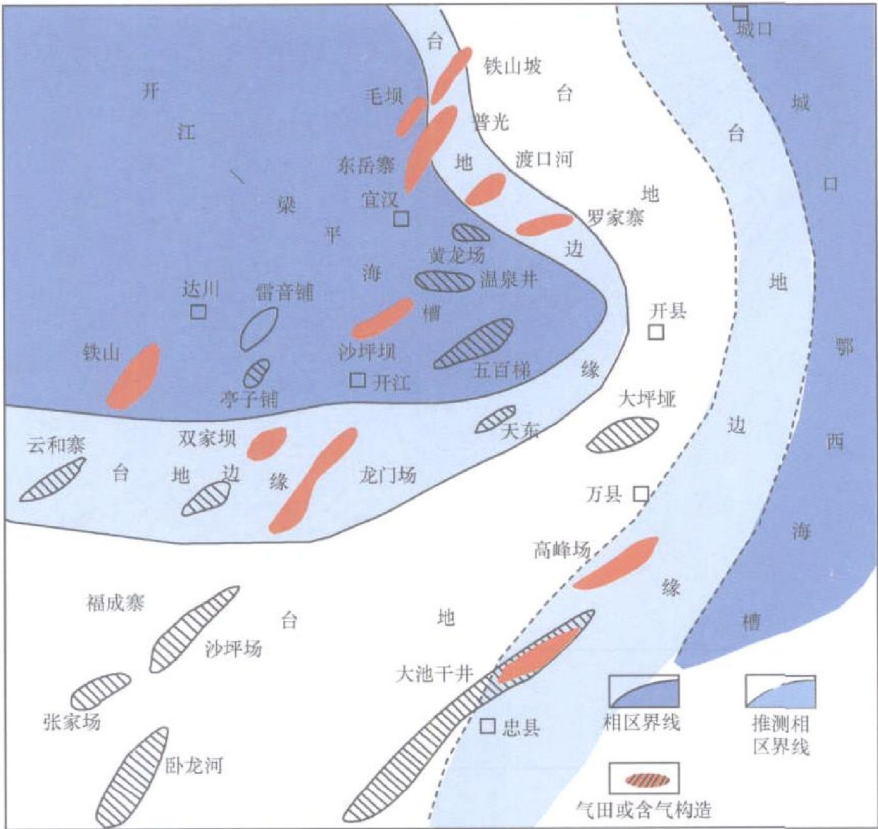


图 9 川东北地区下三叠统飞仙关组沉积相与含油气构造分布示意图 (据张奎华, 2006)
Fig. 9 Sketch map showing the sedimentary facies and hydrocarbon distribution of the Lower Triassic Feixianguan Formation, northeastern Sichuan area

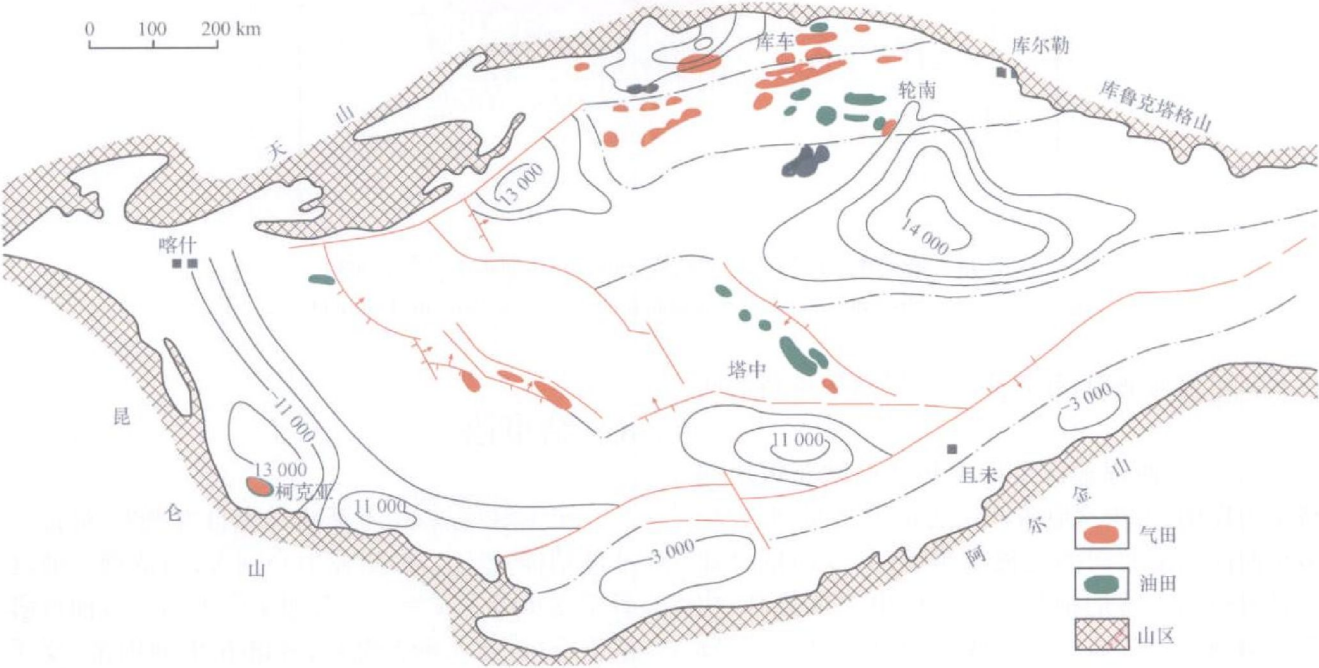
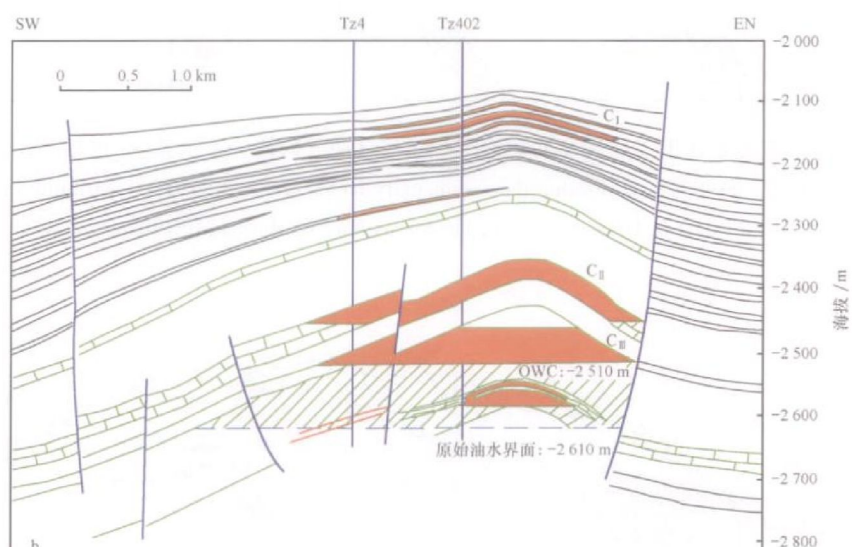
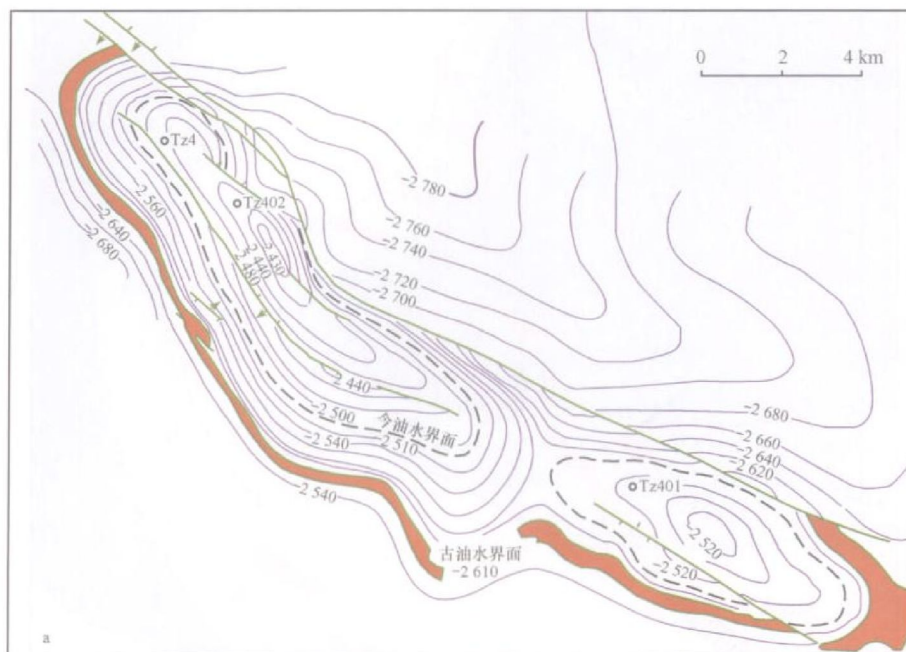


图 10 塔里木盆地油气田分布
Fig. 10 Distribution of oil and gas fields in Tarim basin



大。因此, 只有坚持勘探、深化认识, 才可望在这些地区不断取得油气勘探的新突破。

油气聚集(区)带聚油规律、低-特低渗透储层勘探开发、古潜山油气藏发现、煤成烃研究与实践、

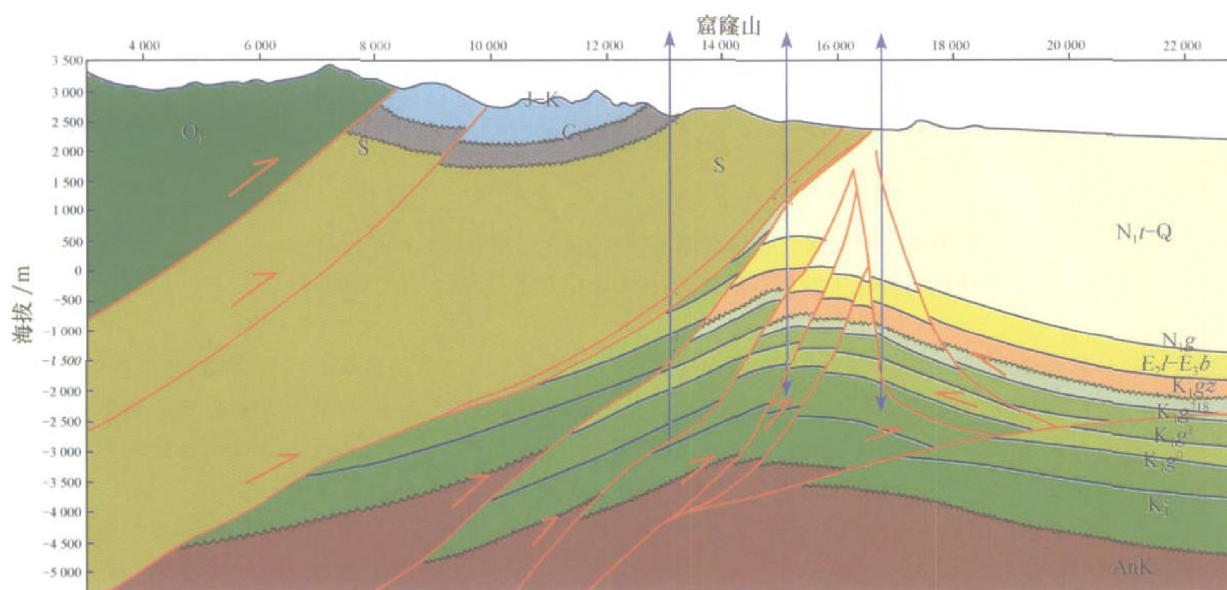


图 12 青西油田构造剖面示意图 (据陈建军等, 2001)

Fig. 12 Sketch map showing the structure profile of Qixi oilfield

海相古生界油气勘探突破和逆掩推覆带油气勘探进展等方面取得了举世瞩目的自主创新成果。

当前在中央提倡科学发展观和建设资源节约型、环境友好型社会的决策中,我国石油工业已步入了一个“开源节流”的发展新时期。我们要加大本国陆地和海洋油气勘探开发的力度,通过精细勘探,在陆相老油区内再造青春,在海相新层系、新邻域、新圈闭类型中取得重大发现,加速浅海区、滩海区、海洋大陆架和深海区油气资源的勘探开发。与此同时,要积极稳步开展海外油气资源勘探开发,依靠科技进步逐步开发国内非常规油气资源,并着手开展对清洁能源和可再生能源的研发工作。

参 考 文 献

- 1 李德生. 中国含油气盆地构造学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 3~212
- 2 胡见义, 黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 164~234
- 3 李德生. 渤海湾盆地复合油气田的开发前景 [J]. 石油学报, 1986, 7(1): 1~21
- 4 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学 [J]. 石油勘探

与开发, 2004年, 31(6): 1~7

- 5 范太雍. 潜山油气藏 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1982. 84~128
- 6 戴金星. 煤成烃国际学术研讨会论文集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 1~14
- 7 马永生, 傅强, 郭彤楼, 等. 川东北地区普光气田长兴-飞仙关气藏成藏模式与成藏过程 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 455~461
- 8 胡光灿, 谢姚祥. 中国四川东部高陡构造石炭系气田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~7
- 9 冉隆祥, 谢姚祥, 王兰生. 从四川盆地解读中国南方海相碳酸盐岩油气勘探 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 289~294
- 10 王一刚. 川东北飞仙关组鲕滩储层分布规律、勘探方法与远景预测 [J]. 天然气工业, 2002, 22(S0): 14~19
- 11 赵孟军, 宋岩, 秦胜飞, 等. 中国中西部前陆盆地成藏过程 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 402~410
- 12 陈建军. 应用新思路、新技术找油, 老油田焕发青春——酒西盆地油气勘探实践 [J]. 中国石油勘探, 2001, 6(3): 16~20
- 13 徐旭辉, 高长林, 黄泽光, 等. 中国盆地形成的三大活动构造历史阶段 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 155~162
- 14 贾承造. 中国西部前陆冲断带构造特征与天然气富集规律 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 9~15

(编辑 李 军)