

石油地质学新进展

张厚福

(石油大学, 北京 100083)

根据大量数据及实例,在阐述世界油气勘探趋势及特点的基础上,引出石油地质学新进展的若干重要方向:板块构造学说的应用、有机地球化学的应用、地震地层学的应用、储层评价技术研究、数学地质和计算机技术的应用等。

关键词 油气勘探 大油气田 板块构造 有机地球化学 地震地层学 数学地质 储层评价

作者简介 张厚福 男 60岁 教授 石油地质

石油地质学的诞生和发展,与油气勘探开发活动密切相关。正是世界油气勘探开发的蓬勃发展和生产需要,促进了石油地质学的新进展。

一、油气勘探动向和特点

世界石油工业大约有150年历史,经历了煤油时代、汽油时代、燃料及化工原料时代。发展到今天世界油气勘探的面貌可由表1、表2看出:1988年世界石油与天然气的产量分别为 $28.85 \times 10^8 \text{t}$ 和 $20087 \times 10^8 \text{m}^3$,剩余可采储量分别为 $1282 \times 10^8 \text{t}$ 和 $1113350 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从1979至1987年两次世界石油大会估计的数据,今后世界可望找到的新增储量从 $1500 \times 10^8 \text{t}$ 减为 $600 \times 10^8 \text{t}$,最终总可采储量将从 $3000 \times 10^8 \text{t}$ 减为 $2440 \times 10^8 \text{t}$,反映出世界油气勘探的难度将会愈益加大。

表1 当今世界油、气的储、产量

年 份	1987 年	1988 年
世界石油产量 (10^8t)	27.86	28.85
世界天然气产量 (10^8m^3)	17750	20087
世界石油剩余可采储量 (10^8t)	1210*	1282
世界天然气剩余可采储量 (10^8m^3)	1074553*	1113350

* 据第十二届世界石油大会分别为 $1110 \times 10^8 \text{t}$ 和 $1110000 \times 10^8 \text{m}^3$

表2 两届世界石油大会的估计

世界总计	第十届世界石油大会 (1979, 布加勒斯特)	第十二届世界石油大会 (1987, 休斯敦)
累积采油量 (10^8t)	500	730
剩余可采储量 (10^8t)	1000	1110
可望找到储量 (10^8t)	1500	600
最终总可采储量 (10^8t)	3000	2440

收稿日期: 1992-01-25

世界寻找油气资源的总趋势是由易到难：从陆地向海洋、从地理条件较好地区向极地、从地质结构简单的背斜油气藏向复杂隐蔽的非构造油气藏及逆冲推覆带、从中深井向超深井发展。当今世界所钻的最深井可能为前苏联科拉半岛的 Kolskaya SG-3 井，井深 12066 m。在这种形势下，世界油气勘探明显具有下列特点：

1. 寻找大型油、气田仍然是首要目标

据美国学者 Halbouty* 估计，全球约有 600 个沉积盆地，其中已有 400 个投入了勘探，大约从 160 个盆地产出了工业石油，估计尚有 100 多个盆地会产石油。在全球 160 个产工业石油的盆地中，发现储量超过 70×10^8 t 石油或等量天然气（通常按 1000 m^3 天然气折算为 1 t 石油）的大型盆地只有六个，即波斯湾、西西伯利亚、伏尔加-乌拉尔、马拉开波、墨西哥湾及锡尔特等盆地，它们拥有的油气储量已占世界发现储量的 65%。

全球正在生产的油、气田已逾 3 万个，所发现的特大型油、气田尽管为数不多，但在世界储量上却占有重要地位。据不完全统计，最终可采储量超过 15×10^8 t 的世界特大油田 10 个，其储量占世界石油总储量的 50% 左右；最终可采储量超过 $9800 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的世界特大气田 10 个，其储量占世界天然气总储量的 30% 左右。

由上可知，寻找大型油、气田，寻找油气资源特别丰富的大型盆地，具有多么重要的意义。

2. 加速海上油、气田勘探

海上油气勘探至今已逾 40 年，油气产量占世界油气总产量的 30% 左右。如果说在本世纪 60 年代只有 16 个国家开展海上油气勘探，那么现在已达近百个国家。海上勘探的领域从大陆架扩展到大陆坡，今天已向深海和极地发展。200 m 水深线已不再是海上油气勘探的界限，目前所钻的探井水深可达 2100 m，开发井水深达 400 m。

北极圈是当今世界海上勘探最困难的区域，但是，加、挪、美、前苏联等国都在大力加强极地油气勘探。据不完全统计，加拿大发现了希伯尼亚和阿毛里加克两个大油田，前者可采储量油 3×10^8 t、气逾 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，日产油 1300—2300 t，气 64×10^4 — $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ ；后者距岸 60 km，水深 32 m，1984 年第一口井日产油 823 m³，第三口井 23 天产油 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，可采储量达 1×10^8 t。挪威在巴伦支海 6 年勘探发现 4 个主要油气田，可采储量气 $3500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、油 8500×10^4 t，美国继发现普鲁德霍湾大油田后，在北极又发现一个近海油田恩地科特，水深 1.2—3.7 m，1978—1988 年建成投入开发，产能 1.39×10^4 t/d，可采储量 4800×10^4 t。前苏联在开发西伯利亚的大型油、气区后，现也向北极圈开展海上勘探。

3. 加强天然气勘探

天然气是热值高、用途广、价廉物美的洁净资源，世界各国纷纷重视加强天然气勘探，以弥补石油资源的不足。从 1950—1985 年世界油、气储、产量的增长速度，天然气比石油增长更快（表 3）。气、油储、产量当量比，分别反映出勘探及开发情况（表 4），说明了三个重要问题：

表 3 1950—1985 年世界油、气储、产量增长情况

年 份	1950	1985	增加倍数
天然气剩余可采储量 (10^{12} m^3)	8	98.6*	11.3*
石油剩余可采储量 (10^8 t)	130	959	6.3
天然气产量 (10^8 m^3)	1851	17750	8.6
石油产量 (10^8 t)	5.38	26.74	4
储量当量比 气：油 (%)	61	103	

* 据第十二届世界石油大会估算为 $111 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，则增加 14 倍

表 4 1985 年气：油当量比

类 别	世 界	美 国	前苏联	中 国
储量（勘探）	1.03 : 1	1.45 : 1	0.5 : 1	0.03 : 1
产量（开发）	0.66 : 1	1.09 : 1	1.08 : 1	0.10 : 1

* Halbouty M T. Acceleration in global exploration—Requirement for Survival. Bull. AAPG, 1978, 62 (5).

(1) 尽管前苏联的气、油储量当量比只有 0.5:1, 但其产量当量天然气已超过了石油; 美国储、产量当量比气均大于油。说明两个产油气大国都大力加强了天然气勘探与开发。

(2) 天然气的成因比石油更广, 除与石油伴生外, 还有含煤盆地的煤型气、上地幔的无机成因气都可能通过运移聚集形成重要的天然气资源。所以, 从发展趋势看, 今后的气、油当量比, 无论是储量或产量, 天然气都可望大大超过石油。

(3) 中国的气、油储、产量当量比都很小, 若与世界及美国、前苏联两国相比, 我国天然气资源的勘探潜力极大; 若考虑到我国石油年产量已愈亿吨, 煤炭资源量居世界之首, 则寻找与油、煤有关的油型气和煤型气都会具有广阔的前景。

4. 大力寻找非构造油气藏

背斜理论指导油气勘探的黄金时代, 从世界范围而言多已过去, 寻找受地层、岩性因素控制的非构造油气藏, 早已引起许多产油气大国的重视。1917 年首先在委内瑞拉发现了玻利瓦尔湖岸油田, 可采储量 $47.7 \times 10^8 \text{t}$; 美国继 1930 年发现东得克萨斯大油田 (可采储量 $7.3 \times 10^8 \text{t}$, 累计产量已逾 $5 \times 10^8 \text{t}$) 后, 相继发现了潘汉得尔油气田 (累计产气 $7000 \times 10^8 \text{m}^3$ 、油逾 $1.25 \times 10^8 \text{t}$) 和普鲁德霍湾大油田 (可采储量油 $13.12 \times 10^8 \text{t}$ 、气 $26 \times 10^{12} \text{ft}^3$); 其他如墨西哥的波扎-里卡 (可采储量 $3.8 \times 10^8 \text{t}$)、阿尔及利亚的哈西·迈萨乌德 (地质储量 $34.7 \times 10^8 \text{t}$) 等, 都属于由地层或岩性因素控制的世界大型非构造油气田。

随着现代数字地震技术的蓬勃发展, 促进了现代沉积学的宏观研究。实践证明: 现代数字地震勘探技术与沉积体系、沉积相研究相结合, 已经成为寻找非构造油气藏的有效勘探方法。墨西哥在波扎-里卡油田中生界生物礁油气藏开发后期, 采用上述先进技术在其上覆下第三系中, 又发现了始新统下部奇孔特佩克组深海浊流水道砂岩透镜体油藏, 沿古浊流水道分布延伸, 石油聚集受砂岩厚度及岩性控制, 与构造关系不大。奇孔特佩克组由暗色页岩、粉砂岩、砂岩组成, 页岩生油, 砂岩透镜体普遍含油, 估计可采储量高达 20×10^8 — $25 \times 10^8 \text{t}$, 属特大油田。

二、新 进 展

上述世界油气勘探的动向及特点, 决定了石油地质学必须向若干边缘学科方向发展, 才能满足勘探的需要, 促进生产的发展。近 20 年来, 石油地质学在下列方面获得了显著进展:

1. 板块构造学说的应用

板块构造学说的诞生被誉为“地质学上的革命”。它给石油地质学也带来了新的活力, 表现在:

(1) 含油气盆地分类方案繁多: 过去的含油气盆地分类多限于陆地和大陆边缘, 板块构造学说诞生后, 含油气盆地分类方案如雨后春笋, 异常活跃, 不再限于陆壳型和过渡壳型的盆地, 而是眼光更为开扩, 注意到洋壳型盆地; 对盆地类型及其形成机制的认识也更为深刻, 油气勘探的预见性增强, 领域更广。

(2) 油气无机成因说重新活跃: 板块构造学说的出现, 以及在巨大转换断层带和环太平洋俯冲带发现了大量烃类显示, 说明与上地幔的物质活动有关。因此, 国内外不少学者重新提倡油气生成的无机来源, 在地盾、俯冲带及转换断层带的油气勘探与科学研究显著加强了。

(3) 逆掩推覆体找油引起重视: 以往地质家们认为逆掩断层带构造复杂, 保存条件差, 很少列为油气勘探对象。由于板块构造学说将烃类生成及显示, 与上地幔活动联系起来, 大型逆掩断层带正可成为深部油气向上运移的通道, 只要遇见良好圈闭便可聚集成油气藏。美国落基山东麓逆掩推覆体若干重要油气田的发现证实了上述观点, 开拓了油气勘探领域。

2. 有机地球化学的应用

有机地球化学的应用, 使石油地质学的基本原理发生了天翻地覆的变化, 油气成因的研究从定性向定量发展, 提高了油气勘探成功率。有机地球化学的现代技术和先进设备, 使有机质类型、丰度及成熟度研究愈益深入, 地球化学指标大量涌现, 烃源岩及生气区、生油区的评价均可达到定量水平。生物标志化合物及同位素地球化学近 10 年来发展尤快, 甾、萜、异戊间二烯型烷烃等类生物标志物的研究, 有助于探讨油源对比、

母质类型及成熟度;同位素地球化学研究对解释气源对比、油源对比、有机质成熟度、天然气成因类型及地层绝对年龄等,均具有重要意义。现在有机地球化学技术正被推广用来探讨油气运移、聚集和保存问题,用来发展地面地球化学勘探技术,探索直接找油气的途径和方法。

3. 地震地层学的应用

地震地层学是现代数字地震勘探技术与地层学、沉积学、石油地质学相结合衍生的一门新兴边缘学科,对油气勘探与开发均具有重要意义。目前可将地震地层学明确地划分为区域地震地层学(含层序地层学)与储层地震地层学(含开发地震学)两个范畴。前者主要是利用地震反射剖面结合少量岩芯及测井资料,研究盆地内各层序的沉积环境分析体系域的类型、特点及分布,重塑沉积史及构造史、对生、储、盖、圈等条件作出评价,寻找非构造圈闭,为预探井提供钻探对象;后者是近几年萌芽的一个新研究动向,在一个局部构造或沉积单元内对地震资料进行特殊处理,综合测井及岩芯资料,定量研究薄砂层或薄石灰岩,确定薄砂层厚度或薄石灰岩溶蚀带厚度,计算孔隙度、渗透率、泥质含量等物性参数与含气饱和度、含油饱和度、气水界面、油水界面、剩余孔隙流体压力等含烃性参数,甚至探索直接寻找气藏或油藏的方法,为详探井、生产井、调整井等提供钻探对象。

4. 储层评价技术

随着油气勘探的深入发展,尤其是在深部油气勘探和天然气勘探中,对储集层的研究和评价技术愈益显得重要,在盆地、区带及油田的勘探、开发全过程中,如何对储集体、储集层、储集性质及储集效率逐级进行定性和定量评价,日益成为勘探或开发成败的关键,所以国内外学者正在加强储层评价技术的系统研究,包括区域储层评价技术、单井储层评价技术、开发储层评价技术、动态储层评价技术和敏感储层评价技术等5套。这些成套储层评价技术的研究,必将显著提高油气勘探与开发的成功率。

5. 数学地质和计算机的应用

数学和计算机技术的引入,正在促使石油地质学及油气勘探技术发生更加深刻的革命。各种数理统计方法在沉积学、古生物学、构造地质学、石油地质学中早已得到广泛的应用。特别是近几年来,应用计算机技术,编制各种地质图件、建立各种数据库、开展盆地分析与模拟、进行不同勘探阶段的油气资源评价和储量计算,并进一步探索建立各地质学科的综合专家系统。

综合石油地质学的上述新进展,可以为油气勘探工作中的盆地描述、区带描述、圈闭(油藏)描述提供新技术,显著提高油气勘探成功率,促进油气地质勘探及开发事业的蓬勃发展。

DEVELOPMENT OF PETROLEUM GEOLOGY

Zhang Houfu

(University of Petroleum, Beijing)

Abstract

Based on a large number of data and examples, the present trends and characteristics of world petroleum exploration have been summarized. By a research and analysis, this paper suggests the new development of petroleum geology, the application of plate tectonics theory, organic chemistry, seismic stratigraphy and mathematical geology, as well as the technique of reservoir assessment.