

文章编号: 1001-6112(2000)04-0359-06

川西地区中深层天然气勘探领域展望

范小林¹, 朱 彤²

(1. 中国石化 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151; 2. 中国石化 新星石油公司 西南石油局 研究院, 四川 成都 610081)

摘要: 川西中生代前陆盆地受龙门山造山作用控制, 在中、深层次相应的沙溪庙组、千佛崖组等水进超覆沉积层序内, 均发育大量利于天然气储集的有利相带。它们主要分布在前陆盆地内部受“古隆起”控制的相对稳定的斜坡地带。那里将成为川西地区天然气勘探的新领域。

关键词: 勘探领域; 天然气; 中、深层; 川西

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

川西地区天然气勘探正在掀起高潮, 其原因在于该地区在中、深层(千佛崖组, 沙溪庙组)发现多套工业气流层段, 勘探取得了突破性进展。这无疑将推动该地区实现培育天然气工业基地目标的进程。当前的勘探成果资料显示, 川西地区发育多个天然

气富集带。自发现中坝气田以来, 近年来又先后发现了新场、平落坝两个气田(藏)群以及九龙山、石龙场、八角场等含气富集区(图 1)。但长期以来, 由于受复杂地质条件的制约, 物探资料的采集、处理和解释不能满足这一地区地质情况复杂性的需要, 因此

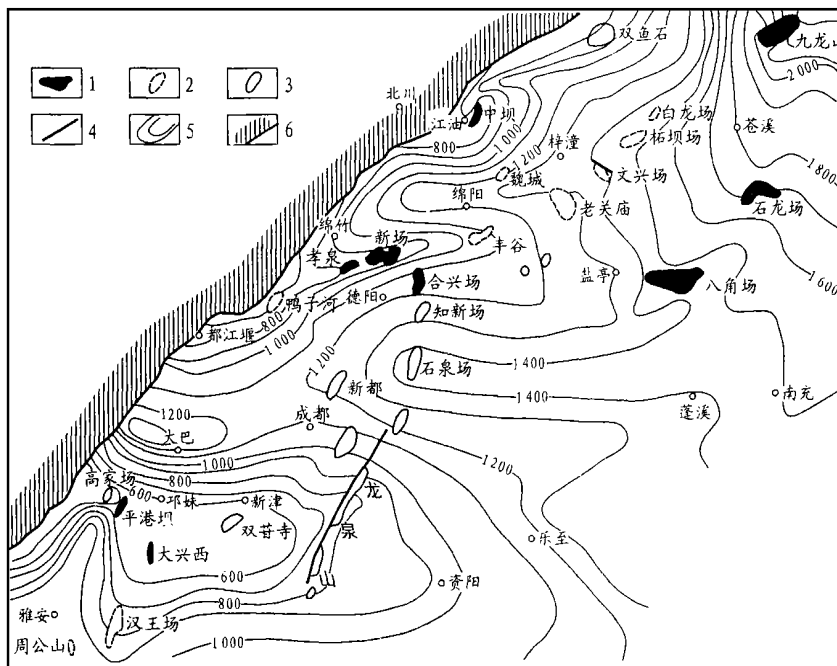


图 1 川西地区上三叠统- 侏罗系天然气富集带分布图^[1]

1. 气田; 2. 含气构造; 3. 构造; 4. 断层; 5. 千佛崖组+ 沙溪庙组厚度; 6. 中三叠统以下地层出露区

Fig. 1 Distribution of natural gas-enriched belts for the Upper Triassic-Jurassic of West Sichuan area

收稿日期: 1999-12-30; 修订日期: 2000-09-01.

基金项目: 中国新星石油公司科技项目(XYK-99-15).

作者简介: 范小林(1954-), 男(汉族), 江苏无锡人, 高级工程师, 主要从事含油气盆地方面的研究工作.

在天然气勘探目标上,主要针对浅层的蓬莱镇组地层。当前,随着勘探工作的进一步深入,作为川西天然气田(藏)的中、长期勘探战略目标,中、深层新领域的天然气勘探愈来愈受到勘探家们的重视。对这个领域的油气地质研究工作从未中断,也投入了不少的实物工作量和资金,但至今未取得实质性突破。笔者认为,有必要加强这一领域的地质研究。

1 构造特征

川西地区介于龙门山褶皱冲断带与川中前陆隆起之间,呈北东-南西向展布。自山前至盆内的大部分构造形成于晚白垩世-第三纪。构造形迹反映出北西向挤压和北东向伸展的构造应力场背景。依据地表地质、地震剖面所反映的构造变形特征,它们分别对应于我们“七五”末期提出的扬子地区构造形变带分类中的 C、D 带^[2](图 2),其特征由表 1 给出。

研究表明自晚三叠世以来,龙门山-川西地区以前陆盆地发展为主^[3]。在前陆盆地的发育过程中,受南秦岭造山作用及龙门山造山作用多期次活动的影响,本区大致以平行的、自山前-盆内的、由叠瓦状冲断带构成的推覆构造为主(图 2)。这个冲断带的形成,归咎于板内造山运动期间陆内俯冲作用导致的“晚三叠世前陆盆地”的被改造^[4]。

现今川西坳陷内中、新生界最大厚度为 5 800~6 000m,北西向分布的中生界地层为沉积楔形体。

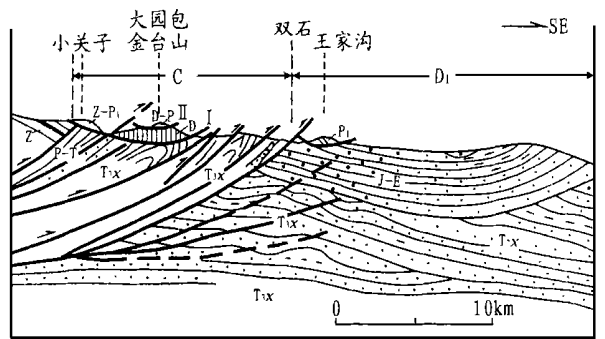


图 2 前龙门山造山带与川西前陆盆地构造剖面示意图
Fig. 2 Schematic map showing the tectonic profiles of the Qianlongmenshan Orogenic Belt and the West Sichuan Foreland Basin

区域构造走向基本上为北东方向。在沉积楔形体内发育燕山早期和燕山晚期构造运动所造成的主要区域性角度不整合面,一是以 K_2/K_1 地层间微角度不整合为代表(角度小于 $2^\circ \sim 3^\circ$),它将上覆沉积的多套砾岩层系(K_2-Q)与下伏河湖相沉积的碎屑岩层序体系(T_3-K_1)截然分开,二是以 J_2q/J_{1z} 地层间小角度不整合为代表,分开西厚东薄的 T_3-J_1 层序和东厚西薄的 J_{2+3} 地层两个楔形沉积实体。研究表明,燕山中、晚期以来的构造事件决定了现今川西地区上三叠统-侏罗系的天然气分布状况(图 1),说明烃源岩在盆地潜没与改造过程中成熟并生、排烃。伴随着构造活动的加强,天然气运聚晚期成藏将更具重要性。

表 1 川西地区构造特征与样式

Table 1 Tectonic characters and patterns for West Sichuan area

形变带	位置	特征	样式
C 带	映秀断裂与关口断裂之间	¹ 龙门山冲断带前缘; ^④ 主前缘断裂为灌县(关口)断裂; ^(四) 叠瓦状次级冲断层发育; ^{1/4} 浅层脆性形变; ^{1/2} 由未变质古生界和三叠系地层组成	褶皱冲断推覆构造
D ₁ 带	关口断裂以东至彭县断裂之间	¹ 主前缘断裂为彭县断裂; ^④ 浅层脆性形变; ^(四) 断裂不甚发育; ^{1/4} 弱形变; ^{1/2} 卷入地层为三叠系、侏罗系	轴向北东的背斜构造带,构造相对完整
D ₂ 带	彭县断裂以东	¹ 宽缓单斜; ^④ 断裂不发育; ^(四) 三叠系-白垩系地层发育; ^{1/4} 微弱形变	隐伏低幅度背斜及不对称同心褶皱背斜

表 2 川西坳陷主要储层岩石物性参数简表

Table 2 Physical parameters of rocks for the major reservoirs of the West Sichuan Depression

井号	井深	层位	岩性	孔隙度 φ /%	渗透率 k / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	备注
M-1 井	1 352.3~ 1 417.5	蓬莱镇组三段 (J_3p^3)	泥质粉砂岩、 细砂岩、粉砂岩 (互层, 非均质)	2.32~ 12.66 8.51	0.025~ 2.29 1.15	有裂缝样品: φ : 9.95% ~ 14.5% k : $5.16 \times 10^{-3} \sim 9.08$ $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$
J-9 井	1 815.95~ 1 986.80	沙溪庙组 J_2sh	细粒岩屑砂岩、 细砂岩、粉砂岩 (互层, 较均质)	4.33~ 7.94 5.69	0.085~ 0.421 0.147	有裂缝样品: φ : 6.56% k : 125.03 $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$
Y-9 井	2 234.34~ 2 256.86	千佛崖组 (J_2q)	岩屑石英砂岩	4.05~ 12.82 8.48	0.062~ 41.713 6.42	有裂缝样品: φ : 1.2% ~ 3.6% k : $0.4 \times 10^{-3} \sim 0.7$ $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$
			粉砂岩	0.96~ 4.43 2.08	0.028~ 8.377 0.481	
			泥质岩类(含泥岩)	1.08~ 3.23 2.21	0.028~ 0.321 0.111	

川西坳陷中, 已发现的气藏与构造活动密切相关。储层自上三叠统至下白垩统在多套地层中均有分布, 但更集中于侏罗系, 它们分别为中侏罗统千佛崖组、沙溪庙组和上侏罗统蓬莱镇组。我们通过野外露头实测和室内井下资料研究发现, 相关储层经历了构造变形而发育节理及构造裂缝。尤其是在断层下盘构造挤压带的“张性裂缝区”(图 3), 那里的储层物性相对较好(表 2)。如果仅从节理和裂缝发育程度看, 川西坳陷气藏大多应当属于裂缝性气藏。但是气田中深层储层主要由低渗透致密砂岩构成, 部分储层裂缝较为发育, 这就反映出该地区中、新生代前陆盆地的构造演化曾控制了沉积成岩作用过程中气藏的形成, 并受燕山中、晚期以来构造变格作用的影响, 使得裂缝型气藏与岩性气藏共存。因此, 构

造作用成为川西地区成藏的主控因素之一。

2 盆地与储层

燕山期是太平洋构造活动带“造山作用”时期, 也是中国西部特提斯造山带主要形成期。四川盆地川西地区伴随南秦岭造山作用过程中的侧向挤压应力波及盆内。受龙门山褶皱冲断带叠瓦冲断载荷与抬升作用的影响, 造山带与前陆隆起之间的中、深层沉积地层厚达 3~ 5km, 时代分布为早、中侏罗世。

晚三叠世以后, 西部造山带上隆速度明显减小, 川西地区表现为缓慢的挠曲沉降, 早侏罗世- 中侏罗世早期的沉积坳陷中心往北东迁移, 沉积厚度自东往西渐趋减薄, 沉积相以河流- 滨湖为主(湖相细

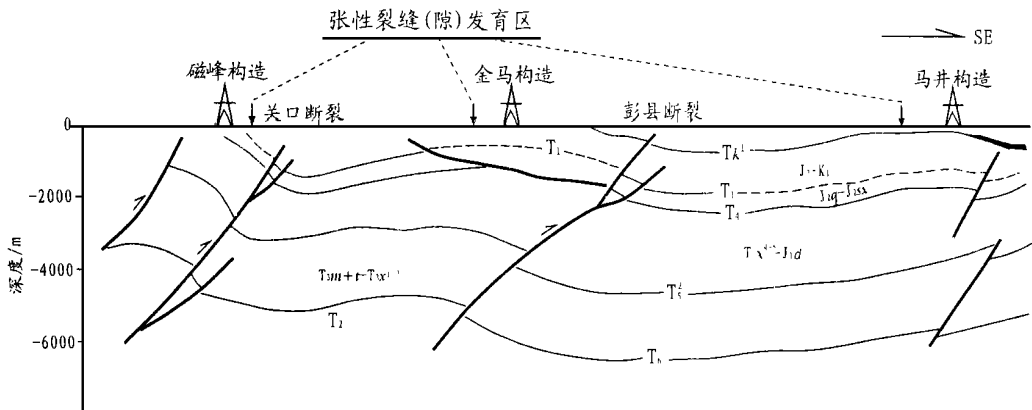


图 3 磁峰场- 马井构造剖面示意图

Fig. 3 Schematic map of Cifengchang- Majing tectonic profile

碎屑岩及大安寨段生物介屑滩), 并延续到千佛崖期, 且发育氧化环境的河流相砂岩。它们与龙门山前冲积扇相砂砾岩一道, 共同构成这一地史阶段盆地发育过程中的主要储层段。

中侏罗世中、晚期, 受川北大巴山类前陆盆地发育的影响, 川西坳陷沉积格局有较大的变化。沉积相带展布在龙门山山前以冲积相- 河流相为主, 砂岩中发育大型斜层理, 往东为河湖交替相, 厚 1 400 ~ 2 300m。

晚侏罗世晚期(蓬莱镇组), 龙门山山系再次逆冲上升, 山前地带沉积了上百到数百米的近源冲积扇相砾岩及河流相砂砾岩、砂泥岩。川西地区以隆升为背景, 残厚 1 200~ 1 600m。

从以上侏罗纪川西盆地的发育过程可以看出, 它属于燕山早、中期龙门山冲断作用与南秦岭冲断推覆作用背景下所呈的盆地相互并列叠加的关系以及沉降中心不断迁移叠加的关系, 并且由此导致沉积序列不断更替, 进而控制着储集岩系组合。

表 3 所展示的千佛崖组、沙溪庙组对应于前陆盆地补偿沉积, 物源分别来自北西方向的造山带和东南方向的前陆隆起剥蚀区。它们为前陆盆地深拗- 斜坡过渡地带的沉降中心提供双向物源, 使得现今的川西地区发育优质储层。由图 4 可以看出,

表 3 川西地区中、深层沉积相简表

Table 3 Sedimentary facies of medium-deep strata in West Sichuan area

目标层	龙门山山前地带	前陆隆起西侧地带
J ₂ sh(沙溪庙组)	冲积扇, 辫状河	河 流
J ₂ q(千佛崖组)	扇三角洲, 辫状河流	辫状河流

川西坳陷中段地区中侏罗统的主要含气储层是以充填河流沉积体系发育间歇性向湖盆方向推进的三角洲储集砂体, 从而构成有利于油气储集的时间地层单元。

3 源岩与气藏

川西坳陷晚三叠世盆地的构造格局及海陆交替沉积含煤碎屑岩控制了源岩有机质演化程度的分布和油气运移。它沉积后, 由于迁移及并列叠加侏罗纪- 白垩纪类前陆盆地, 使晚三叠世前陆盆地中的主要生油气源岩深埋至 3 500~ 6 000m。从表 4 所表述的源岩生烃史认识可以发现, 源岩有机质过熟开始生气、排气是在晚侏罗世- 早白垩世。而在燕

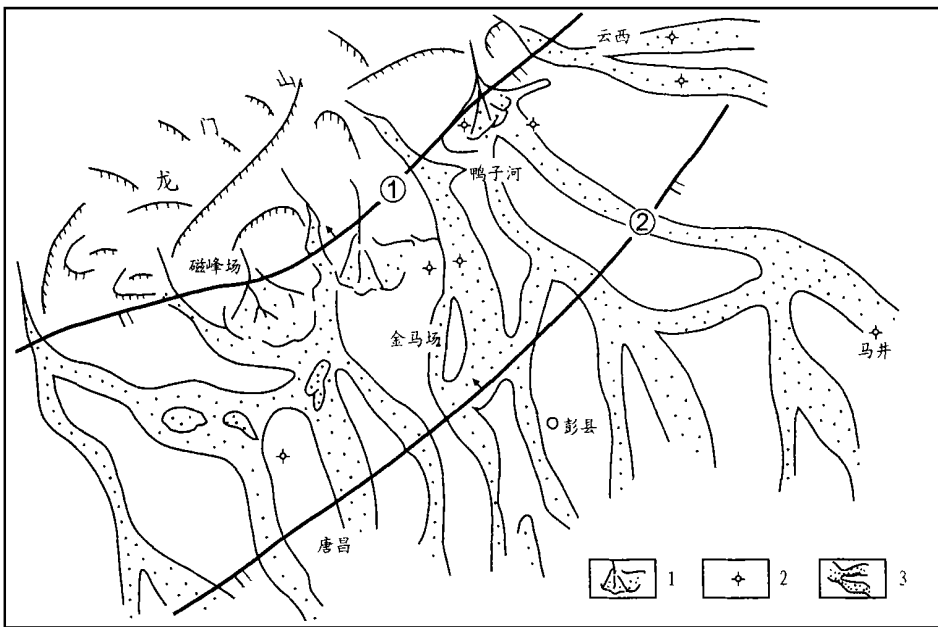


图 4 川西坳陷中侏罗统有利储层沉积相带分布示意图

1. 冲积扇; 2. 钻井; 3. 河流沉积体系

Fig. 4 Schematic map showing the distribution of sedimentary facies belts for the Middle Jurassic favorable reservoirs of the West Sichuan Depression

表 4 川西地区晚三叠世烃源岩生烃史简表¹

Table 4 Hydrocarbon-generating history of the Late Triassic source rocks in West Sichuan area

阶 段	鸭子河 (川鸭 92 井)	合兴场 (川合 100 井)	平落坝 (大邑南平落 1 井)
生气阶段	J ₃ 中期	J ₃ 中期	J ₃ 晚期
生油阶段	早 期	T ₃ 中期- K ₁ 晚期	T ₃ - J ₃ 中期
	高峰期	T ₃ 晚期- K ₁ 末期	J ₂ 晚期- K ₁ 初期
	J ₂ 晚期- K ₂ 晚期	J ₂ 末期- K ₂	K ₁ 早期- K ₂
热解气阶段	湿气期	J ₃ 早期- K ₂	J ₃ 中期- K ₂
	干气期	K ₁ 中期	K ₁ 早期
			K ₁ 晚期
			未 入

山晚期之前,因受川西坳陷区域性构造运动和差异性升降运动影响,烃源岩系出现过不同程度的抬升与埋藏,生烃作用弱。此阶段恰是川西前陆盆地发生大规模抬升期之前。据“八五”末测算,晚三叠世烃源岩累计生气量可达 $500 \times 10^{12} \text{m}^3$ (表 5)。

川西坳陷天然气气藏储层主要是非常规致密化砂岩层系,但都大面积饱含气。其原因是燕山晚期-喜山早期,晚三叠世前陆盆地及后续并列叠加的侏罗纪-白垩纪前陆盆地部分被卷入“板内形变”,以致整个燕山期逐步形成的致密化侏罗系砂岩储层遭受构造应力挤压并发生剪切作用而被改造;同时,伴生一些与构造形变相关的局部构造或非构造圈闭,并充注天然气。

据我们的野外及井下岩心观察,被改造后的砂岩可产生构造裂缝,物性变好(表 2)。尤其是在断层下盘的构造挤压带(图 3),中侏罗统砂岩处于张性裂缝区(“背斜”的枢纽部位),在野外可见到其中所发育的 1~2 组节理(劈理)以及所伴随的顺层压剪性裂缝(层理缝,水平缝)。据井下岩样分析结果(T_{3x}, J_{2q}),鸭子河构造受挤压构造应力作用是在

表 5 T₃-J₃ 烃源岩主要阶段生气量^[6]Table 5 Generated gas amount of T₃-J₃ hydrocarbon source rocks in major stages

地史时期	T _{3x} 末	J ₁ 末	J ₃ 末	K ₁ 末	E 末
天然气生成量 / 10^{12}m^3	50	70	242	50	20
累积生气量占总 生气量的比例 / %	11.5	27.7	83.8	95.3	100

燕山晚期-喜山早期^[5],由此产生的岩石裂缝对浅层、中深层储层的成藏至关重要。

4 勘探领域展望

川西地区相对于龙门山褶皱冲断带,长期处于沉降(沉积)地区,在山前前隆斜坡发育广阔的侏罗系河湖交替带,堆积充填导致了山前坳陷中发育由冲积扇经河流入湖的长轴状朵状三角洲前缘相带,是有利储油气相带发育的主要区域。受燕山晚期-喜山期“龙门山造山隆升”作用的影响,使得本区生烃岩系(三叠系),中、深层储层(中侏罗统为主)及高压异常带(须家河组)与垂向断裂疏导系统共同构成含气成藏体系。尽管地表构造复杂,但经晚三叠世地层中泥质岩层滑脱,导致上、下构造层差异很大,中、深层可存在相对平缓的构造(见图 2)。这类“下构造层”在山前或盆内均有利于构成岩性构造圈闭(砂体+局部构造)和岩性圈闭(砂体+斜坡)或非对称牵引褶皱背斜圈闭。

川西地区相对于前陆隆起,西部广域内的 3 大燕山期 NEE 向古隆起斜坡带(图 1)控制了中、深层有利储层的发育。储集层部分在喜山期褶皱变形过程中形成背斜构造,部分保留原地形成岩性圈闭。

中、深层千佛崖组(J_{2q})和沙溪庙组(J_{2sh})地层储集体河湖相碎屑岩发育,孔渗条件较好。区内须家河组富烃岩系(含煤质泥岩)发育,且有断裂或裂隙输导条件,又位于燕山期“古隆起”边缘的储层发育地带(如水下分流河道砂体发育处,图 4),是寻找中、深层气藏的有利区带。

¹ 王德新. 四川盆地中、西部燕山期构造形变及演化与油气富集成藏的关系研究. 西南石油局科研项目, 1998.

由于前龙门山褶皱冲断体系及隐伏冲断层纵贯全区,由其派生的裂缝网络及局部构造可形成含气系统。因此,在北西向地层展布并发育北东向构造的叠合地带是勘探以晚三叠世须家河期为烃源的含气系统的最佳地带。

综上所述,川西地区深部烃源岩发育(T_{3x}),生烃强度高,输导条件匹配良好,古、今构造叠加控制成藏。这一认识应作为一种思想存在于勘探家的头脑之中。只要对新气田(藏)抱有希望,再利用川西地区特定的油气地质条件分层次、分阶段地实施勘探:¹以须家河组为源岩层系,制约构建近源型(中、深层)含气系统;④解剖中、深层含气系统,发展中侏罗统(千佛崖组、沙溪庙组)勘探进程;④充分认识深源中深层裂缝(裂隙)“三位一体”构成的含气系统规律,就可以在中、深层领域发现一长串新气田(藏)。

致谢:本文得到孙肇才教授的指导和帮助,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 郭正吾,四川盆地西部浅层致密砂岩天然气勘探模式[J]. 天然气工业, 17(3), 1997.
 [2] 孙肇才,邱蕴玉,郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏[J]. 石油实验地质, 13(2), 1991.
 [3] 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.
 [4] 李勇,曾允孚,伊海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1995.
 [5] 罗啸泉,郭东晓,周文娅. 论龙门山中段前缘油气成藏条件[J]. 岩相古地理, 19(2), 1999.
 [6] 岳东明. 浅析川西坳陷燕山中、晚期构造圈闭的有效性[J]. 石油实验地质, 21(2), 1999.

PROSPECTS FOR MEDIUM-DEEP NATURAL GAS EXPLORATION FIELD IN WEST SICHUAN AREA

FAN Xiaolin¹, ZHU Tong²

(1. Wuxi Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;
 2. Research Institute, Southwest Bureau of Petroleum, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: The Mesozoic Foreland Basin in West Sichuan area is controlled by Longmenshan orogenesis. In the transgressive overlap sedimentary sequences of medium-deep strata such as the Shaximiao Fm., the Qianfuya Fm., etc., a great amount of favorable facies zones which are advantageous to the accumulation of natural gas are developed. They are distributed in the relatively stable slope regions within the Foreland Basin which are controlled by the paleouplift. There will become the new field of natural gas exploration in West Sichuan area.

Key words: exploration field; natural gas; medium-deep strata; West Sichuan area

当好传播科技信息的媒介 成为石油地质事业的向导

《石油实验地质》第三届编委会第一次会议在锡召开

本刊讯 在出席“朱夏油气勘探地质理论应用学术研讨会”期间,《石油实验地质》第三届编委会第一次会议于11月26日晚在无锡实验地质研究所召开。会议由新星石油公司总地质师、《石油实验地质》编委会主任委员周玉琦主持,编委会副主任委员、主编叶德燎介绍了本刊的发展历程及展望,刘光鼎院士到会发表了精彩意见。

作为地学类、石油工业类的核心期刊,《石油实验地质》自1979年经由朱夏、关世聪等老一辈科学家组成的第一届编委会的辛勤耕耘播种以来,先后曾被原地矿部全国地质图书馆等筛选为18种石油天然气地质类核心期刊并获江苏省优秀期刊奖。美国国会图书馆和地质调查局图书馆、墨西哥和德国汉诺威大学图书馆等世界著名的图书馆均将本刊作为其馆藏期刊。该刊一直处于被引频次最高的中国核心期刊500名排列表中。

周玉琦对《石油实验地质》勇于开拓进取、服务于油气勘探开发取得的显著成绩给予了充分肯定,对本刊今后的办刊方向、编辑质量以及编委会的工作提出了要求。他强调指出,为迎接新世纪的挑战,《石油实验地质》要进一步倡导“百花齐放,百家争鸣”的办刊方针,坚持科技进步和科技创新,不断提高期刊质量,为石油地质工作者创造更加良好的学术交流氛围,使之成为传播油气地质勘探新理论、新技术、新方法的媒介和献身石油地质事业的向导,为油气工业二次创业作出更大贡献。

(特约记者 江其勤)