

构造几何分析在川东油气勘探中的应用

戴弹申 欧振洲 王 旭

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

川东地区的裂缝性气藏,均受构造变形特征所制约。作者应用构造几何分析与定向滤波分析相结合的方法,将本区构造划分为四个褶皱系和四个世代,均属喜山期形成。并认为:形成早的构造(圈闭)气藏富集程度高,反之则低;隆起幅度高、出露地层老的背斜气藏的保存条件差,反之则好。按此法部署探井的构造,钻探成功率达75%。

关键词 川东 裂缝性油气藏 构造几何分析 定向滤波分析 油气勘探

川东地区基底具双层结构,由结晶杂岩、深变质岩和浅变质碎屑岩叠置而成;盖层亦具双层结构,其下为台地沉积,上为陆内盆地沉积。沉积盖层厚逾8000 m。在前震旦系、下震旦统基底上沉积了上震旦统、寒武系、奥陶系和志留系,加里东—海西早期抬升,缺失泥盆系、下石炭统,仅在万县-达县和涪陵-长寿间残存中石炭统,早二叠世末的峨眉山裂运动波及本区,沿华蓥山、万县-达县等基底断裂断续分布玄武岩、辉绿岩,至晚三叠世前均显示为上升台地。印支—幕使上扬子地台近乎整体上升,卡尼期海侵使本区成为川西海湾盆地东部;印支中、晚幕,西及北缘槽区褶皱封闭形成山系,使四川大陆架盆地向陆内盆地转化,沉积了侏罗纪、白垩纪陆相地层。燕山运动动力来源于东部,东强西弱,造成大娄山等褶皱山系,陆内盆地向西萎缩,缺失下第三系。早第三纪末的喜山—幕使沉积盖层首次全面卷入褶皱、断裂变形。历经喜山期数次变形幕的改造,最终形成现今构造景观。

一、构造演化

川东地区的盖层构造是经喜马拉雅运动多次变形幕在不同方向的水平侧向挤压应力场作用下形成的(仅局部存在水平力偶扭动)。其构造复合变形特征是先褶后断、以褶为主。因岩类组合差异导致构造垂向变异大,呈不协调褶皱;横向上又因连续弯曲变形为主而呈复式褶皱形式。背、向斜组合在较大范围内呈隔档式构造。不同方向的背斜带呈等间距分布,但叠加、干扰显著,构成十分复杂的构造格局。对其构造演化规律和形成期次划分历来众说纷纭、莫衷一是。为解决川东地区构造变形的样式、形成期次、世代关系,重建构造演化史,以便探讨不同背斜与油气富集的关系,笔者与西北大学地质系张国伟、白玉宝等协作,首次将变质岩构造几何分析与显微构造分析方法引入国内沉积岩构造研究,并结合定向滤波分析来探索构造演化规律。

1. 褶皱系划分

本文1989年2月24日收到,同年5月11日改回。

构造几何分析中所指的构造样式系褶皱形态特征的总和, 常由若干参数来确定, 如褶皱紧闭程度, 有无轴面理及其类型, 有无相关的具透入性的线状构造、显微构造等。川东地区构造由于没有伴生的、可供鉴别样式类型的线状、面状构造和其它特征, 因此, 只能从褶皱的走向、枢纽倾伏方向、褶皱紧闭程度、横剖面形态特征、褶皱卷入深度和幅度以及在赤平投影图上的组构形式来划分褶皱系。

根据对露头地区开展的构造几何分析和对地腹二叠系阳新统顶面构造进行的定向滤波分析成果 (图 1), 将该区的背斜划分为四个褶皱系:

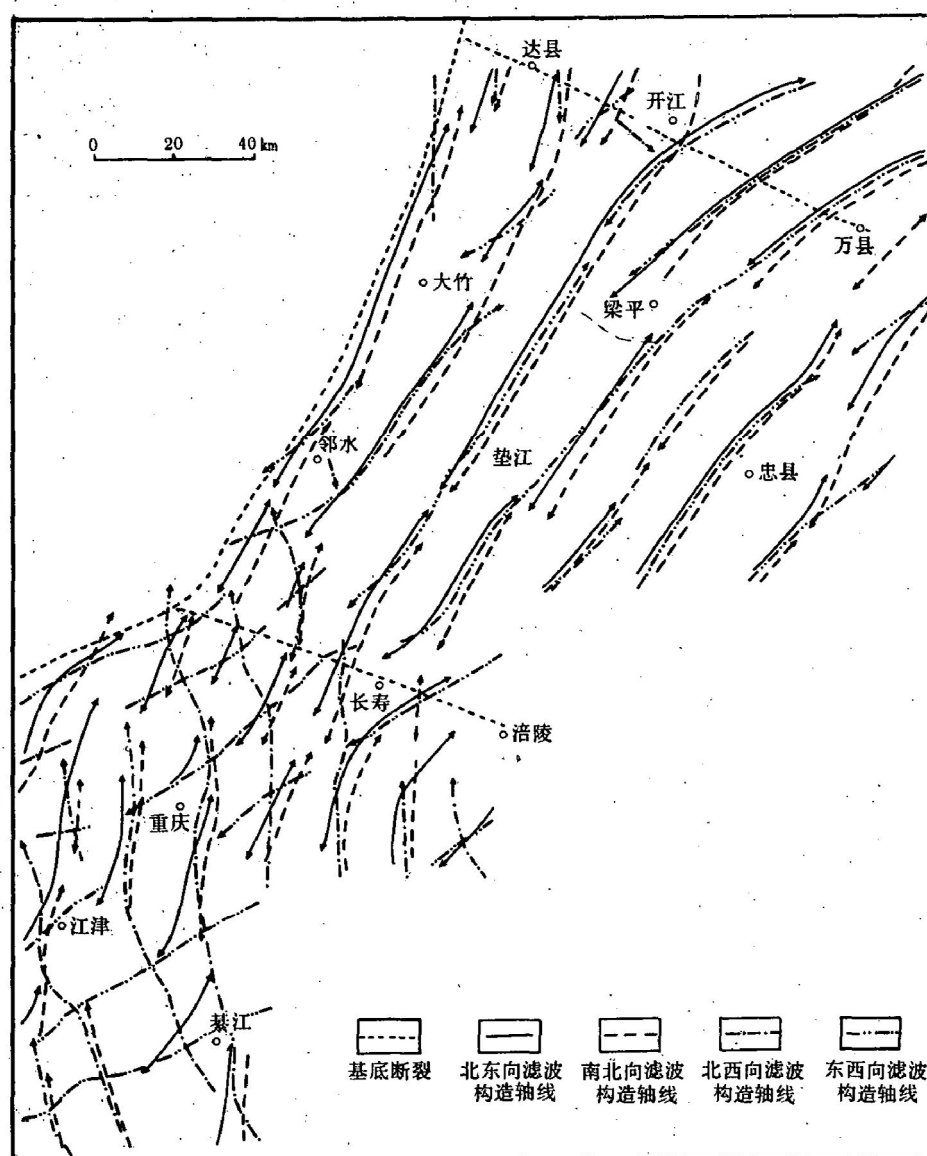


图 1 川东地区喜山期构造叠加关系图

(1) 北北东向褶皱系: 主要分布在开江-长寿以西, 枢纽多向两端倾伏, 褶皱紧闭, K^* 为

• 褶皱紧闭程度用其地层弯曲的曲率 K 表示。

$1.5-2.0 \text{ km}^{-1}$ ，横剖面形态为复式褶皱（图2），无论是转折端还是两翼都有轴向平行主干褶皱的次级褶皱，以华蓥山中段隆起幅度和卷入深度最大，分别可达5000 m以上和10000 m以上，往其东、南、北三方幅度减小为3000—2000 m，卷入深度减小为9000—8000 m。几何图形表现为So极点不完全的大圆环带或拉长的极密（图3-A），以开江-达县和长寿-合川为界，可将该褶皱系划为三段，各段的褶皱形态特征略有差异（表1）。

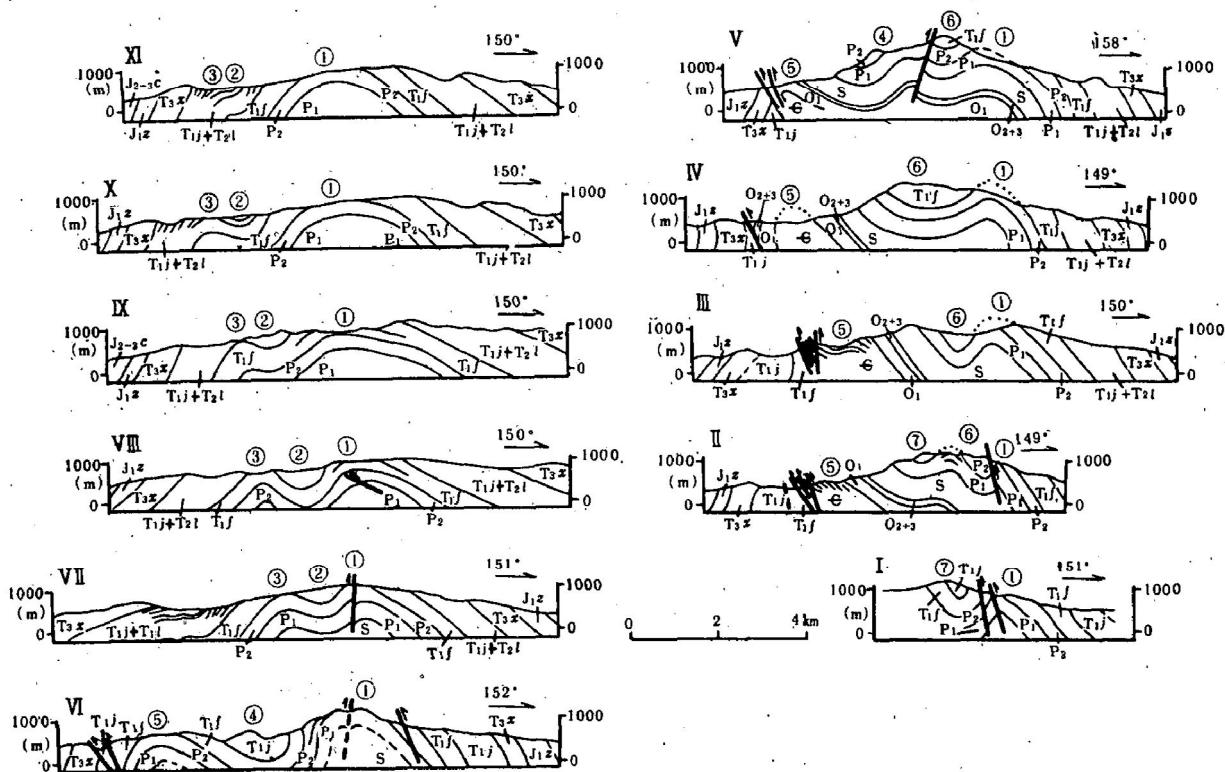


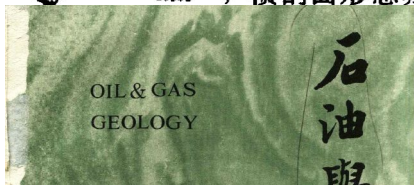
图2 华蓥山中段构造横剖面图

①—龙王洞背斜，②—田湾向斜，③—打锣湾背斜，④—天池向斜，⑤—宝顶背斜，⑥—李子埂向斜，⑦—三百梯向斜
本图根据四川省地质局二〇八地质队1966年煤田地质详查资料简化缩制。

表1 北北东向褶皱系各段特征表

分段	枢纽起伏形态	褶皱紧闭程度K (km^{-1})	次级褶皱与主 干背斜的关系	隆起幅度 (m)	卷入深度 (m)	几何图形
中段	向两端倾伏为主	1.5—2.0	平行	>3000	>10000	大圆环带为主
南、北段	向一端倾伏为主	1.0—0.5	斜交	3000—2000	9000—8000	拉长的极密为主

(2) 北北西或近南北向褶皱系：主要分布在达县-涪陵一线以西，走向北北西或近南北。以达县-开江和涪陵-合川为界，可划为三段：南段枢纽多向两端倾伏，褶皱紧闭，K为1.5—2.0 km^{-1} ，横剖面形态为复式褶皱形式，转折端或两翼都有轴线与主干背斜轴平行的次级褶皱，隆起幅度3000—2500 m，卷入深度逾8000 m，均较北北东向褶皱系小，几何图形So极点为不完全的大圆环带或拉长的极密。中段枢纽多向一端倾伏，褶皱较开阔、宽缓，K约为1.0 km^{-1} ，横剖面形态亦为复式褶皱形式，转折端或两翼有与主干背斜斜交的次级褶皱，隆起幅



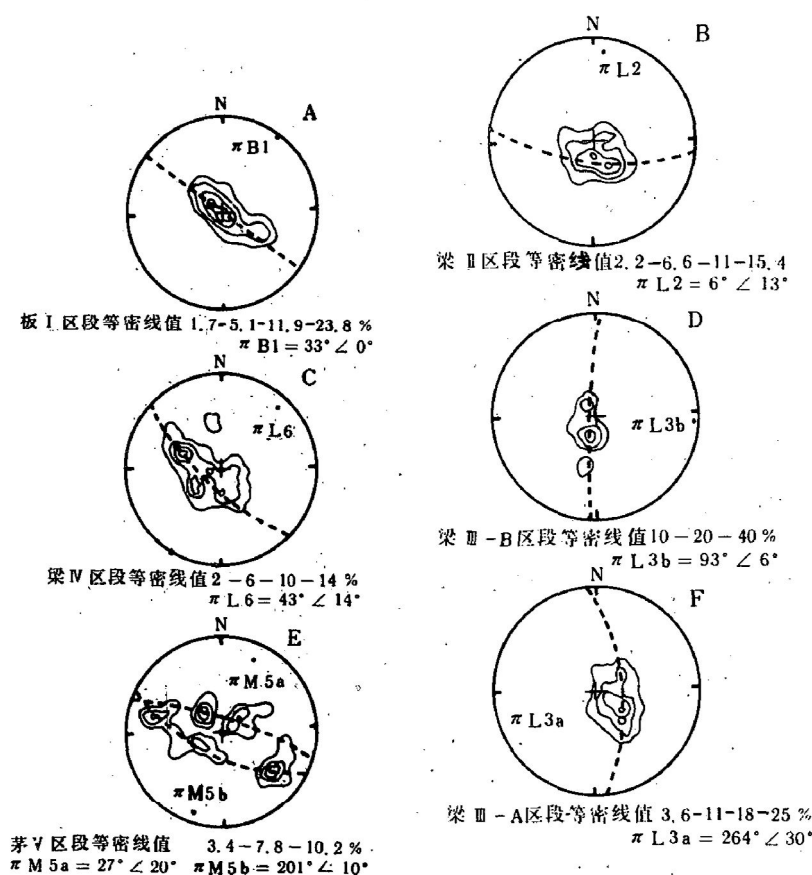


图 3 各褶皱系的几何图形 (So 极点图)

度及卷入深度较小,依次分别为 2500 m 左右与小于 8000 m,构造形迹不如南段显著,几何图形 So 极点为不完全的大圆环带和拉长的极密(图 3-B);北段褶皱的几何特征与中段相近,唯隆起幅度小于 2500 m。

(3) 北东或北东东向褶皱系:主要分布在合川-开县一线东南,走向北东或北东东。以开江-万县和长寿-涪陵为界分为三段。中段枢纽多向两端倾伏,褶皱较开阔, K 为 $1.0-0.5 \text{ km}^{-1}$,横剖面形态亦为复式褶皱形式;其展布特征东、西有差别:东部该褶皱系的次级褶皱多与主干褶皱平行展布于背斜转折端或两翼,而西部则与主干背斜斜交;卷入深度与隆起幅度为东大西小,东部隆起幅度 4000—5000 m,卷入深度达 10000 m,西部隆起幅度 2000—3000 m,卷入深度 < 8000 m;几何图形 So 极点为不完全的大圆环带(图 3-C, E)。南段枢纽多向一端倾伏,其展布多与主干褶皱斜交,隆起幅度在 1000 m 以下。而北段走向逐渐转向北东东,枢纽多向两端倾伏。

(4) 北西西或近东西向褶皱系:主要分布在大巴山前缘,向盆地内形迹逐渐减弱,构造几何特征由北向南有如下变化趋势:枢纽由向两端倾伏为主变为向一端倾伏为主,褶皱由较紧闭变为开阔、宽缓的波状, K 由大于 2.0 减小至 0.5 km^{-1} 以下,横剖面形态虽多为复式褶皱形式,但从与主干褶皱平行变为与其斜交或正交,卷入深度和隆起幅度均由大变小,隆起幅度由大于 5000 m 减至小于 1000 m,卷入深度由大于 10000 m 减至小于 6000 m,几何图形 So 极点由不完全的大圆环带为主变为拉长的极密(图 3-D, F)。上述变化趋势在万县-达县一

带有一突变线。

2. 叠加关系

从上述四个褶皱系的构造几何特征看，除褶皱方向有明显差异外，很难从其它形态特征严格区划为不同构造样式，这可能与沉积岩较变质岩变形微弱、又未变质有关。但各褶皱系展布的分区性却十分明显，北北东、近南北、北东和近东西向褶皱系主要分别展布在川东地区的西部、南部、东部和北部（图4），它们相互叠加、迁就、干扰，受达县-万县和涪陵-长寿两条基底断裂控制。这两条断裂将川东切割成三段：南段主要为近南北向（或北北西向）和北东（或北东东）向褶皱系叠加，地震勘探发现的所谓“潜伏构造”都是以上两组构造的反映。中段的西部以北北东向褶皱系为主，东部以北东（或北东东）向褶皱系为主，不同程度

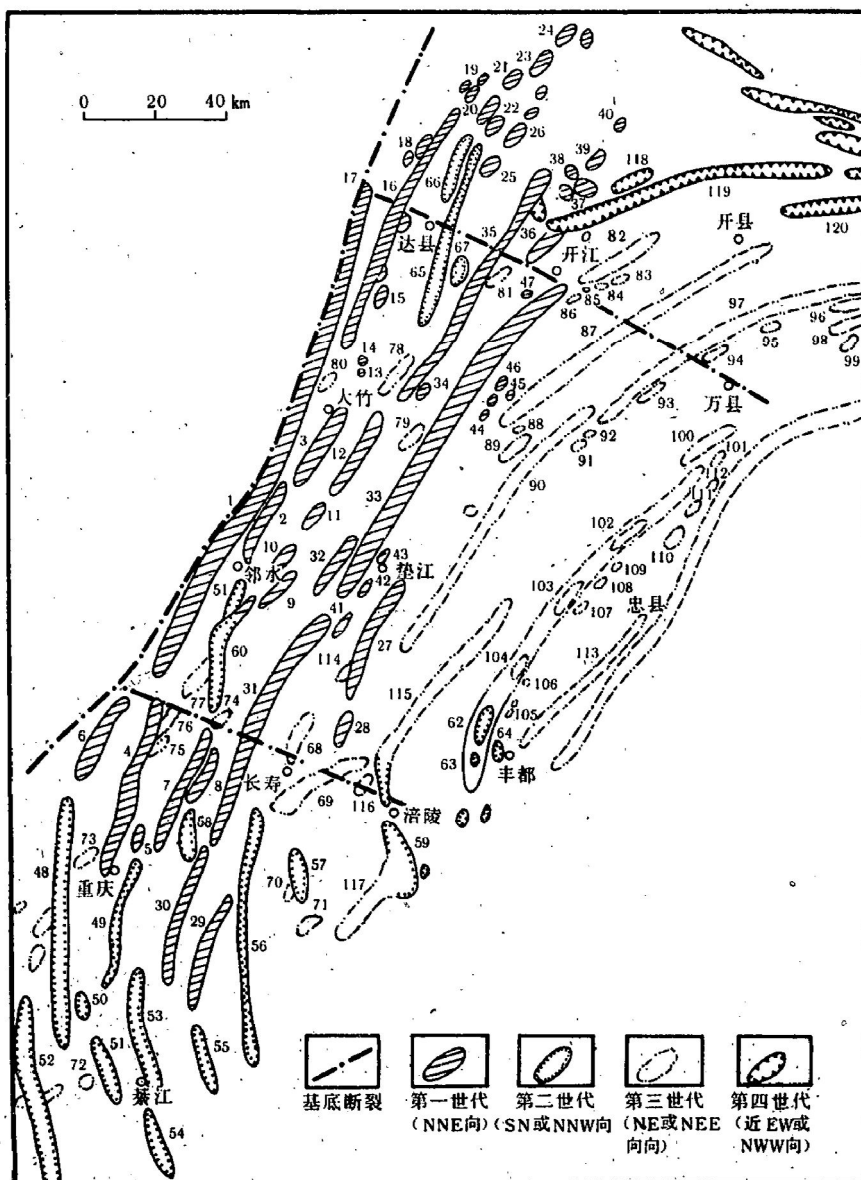


图4 川东地区不同世代背斜分布图

地叠加了近南北（或北北西）向和近东西（或北西西）向褶皱系；本段的“潜伏构造”，或者是与主干背斜属同一组系的复式褶皱的低背斜，或者是与其斜交的不同组系的构造。北段构造格局尤为复杂，为四个褶皱组系的叠加干扰。不同区段、不同层位的主次褶皱系不同。

3. 构造世代

构造世代划分主要依据野外实测、观察到的各种构造要素之间的先后关系，以及通过赤平投影作图分析要素在后期变形中的变位组构型式来确定，尤以各种线状构造要素的变位组构型式最为重要。

由于沉积岩区构造变形微弱，褶皱宽缓、开阔，新生构造贫乏，显微构造分析也未能发现岩石、矿物发生物理和化学调整，仅产生几何形态的微弱变化。野外很少见到褶皱或其它要素直接叠加的露头。因此，主要依据各褶皱系的大、中尺度褶皱的穿插、迁就、叠加关系和小褶皱枢纽产状的赤平投影组构型式来划分世代。

(1) 各大型褶皱的穿插关系

据图 5、6 中各组系构造的穿插、迁就、叠加关系不难将其划分为四个世代：

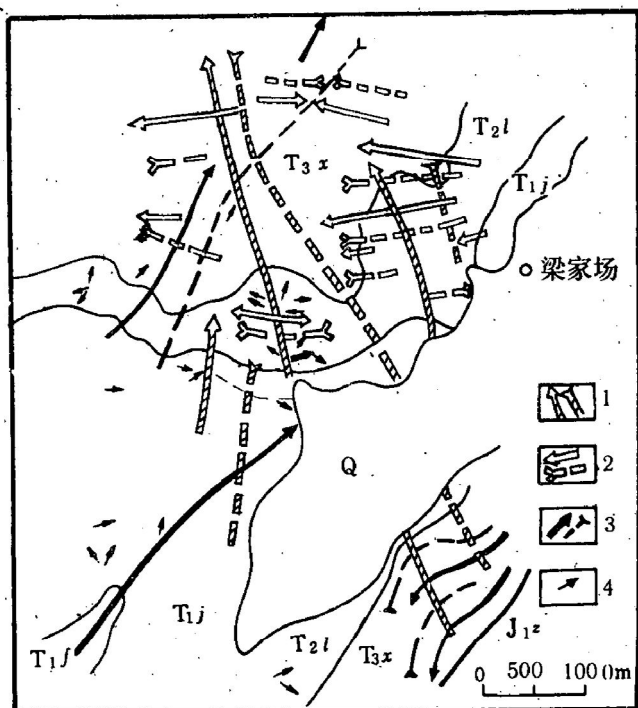


图 5 梁家场测区构造纲要图

1—近南北（北北西）向褶皱系的背、向斜，2—近东西（北西西）向褶皱系的背、向斜，3—北北东向褶皱系的背、向斜，4—小褶皱枢纽

近东西向褶皱横越近南北向和北北东向褶皱，而近南北向褶皱，又穿插、干扰了北北东向褶皱形成序次：由老到新分别为北北东—近南北—近东西

第一世代：北北东褶皱系；

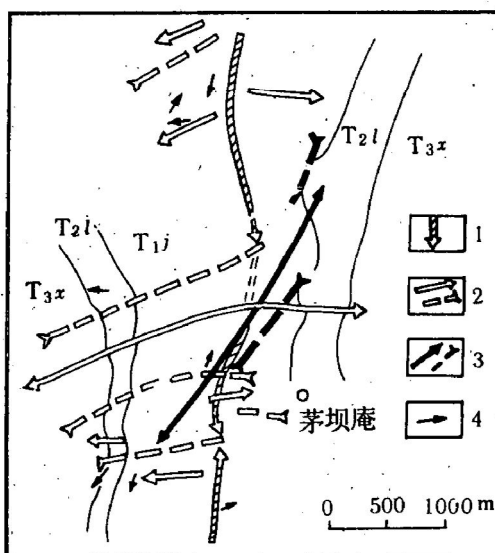


图 6 茅坝庵测区构造纲要图

1—近南北（北北西）向褶皱系的背斜，2—近东西向褶皱系的背、向斜，3—北东向褶皱系的背、向斜，4—小褶皱枢纽

近东西向褶皱横越近南北向褶皱展布在其两翼，它还横越北东向褶皱；北东向褶皱穿越近南北向褶皱，使其受到干扰，叠加现象明显。形成序次：由老到新为近南北向北东向—近东西向

第二世代:近南北(或北北西)褶皱系;

第三世代:北东(或北东东)褶皱系;

第四世代:近东西(或北西西)褶皱系。

(2) 小型褶皱枢纽组构型式

判别小型褶皱枢纽变位组构型式有助于划分构造世代和确定褶皱形成机制。其基础在于褶皱样式类型与褶皱世代相对应,图7为被晚期褶皱叠加改造的早期褶皱枢纽产状在赤平投影图上所具有的特定的组构型式。图8为叠加在早期褶皱上的晚期褶皱枢纽在赤平投影图上所具有的固有型式。

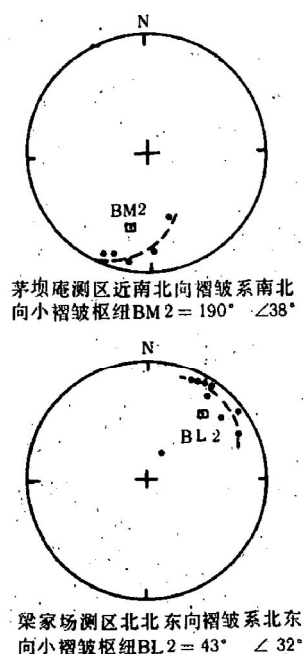


图7 小型褶皱枢纽变位组构型式图

a. 茅坝庵测区南北向小褶皱枢纽产状围绕变位轴呈小圆环带分布,表明了它们因后期褶皱叠加作用而发生变位,叠加后的枢纽应与变位轴一致,向南西倾伏,这是北东向褶皱叠加在近南北向褶皱系上的结果。

b. 梁家场测区北北东向褶皱的小褶皱枢纽组构型式呈小圆环带分布,其轴既不平行东西向褶皱枢纽,又不平行近南北向枢纽,说明北北东向褶皱系小褶皱枢纽的变位轨迹比一次变位的结果更复杂,它是多次叠加的结果。

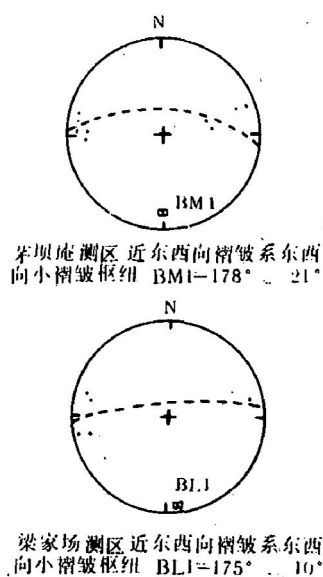


图8 小型褶皱枢纽变位组构型式图

a、b都是东西向小褶皱枢纽组构图,表现为一大圆环带,这是叠加在早期褶皱上的晚期褶皱特征

a. 茅坝庵测区近东西褶皱系的東西向小褶皱枢纽组构型式;

b. 梁家场测区近东西褶皱系东西向小褶皱枢纽组构型式。

对各褶皱系的小褶皱枢纽变位组构型式分析结果,同样说明可划分为四个世代,其次序与地质-构造图分析一致。

4. 构造期的年龄

构造期的年龄,目前研究不够,又限于川东大部分地区缺乏白垩纪和第三纪的地层纪录,因此,还停留在推理阶段。据侏罗系及更老地层中均存在上述四个构造世代的变形痕迹认定

它们应晚于侏罗纪,宣汉和綦江地区观察到残存的白垩系和侏罗系,分别呈连续沉积和平行不整合关系,结合盆地西部的白垩纪、第三纪的地层记录推断:第一世代的构造变形可能发生在早第三纪末,第四世代的构造变形可能出现在更新世前,第二、三世代的构造变形界于二者之间。因此,可以认为喜马拉雅运动的四期褶皱作用的形成及依次叠加、迁就、干扰是川东地区构造演化的主要事件。

二、构造与油气富集的关系

在侧向挤压力作用下,岩层发生连续弯曲变形形成纵弯褶皱,并伴随产生规模不大的断层和各种构造缝,它们是同一应力场作用下的产物。从而形成背斜圈闭和由构造有效缝及其连通的孔洞组成储渗空间,为构造有效缝尖灭、闭合或充填的岩块所围限(遮挡)的、具有统一压力系统的构造裂缝尖灭圈闭。这些圈闭的形成时期与所属褶皱系相同。因此,区内喜山期的四期褶皱作用必然相应地产生四个世代的圈闭。由于圈闭的形成时期有先后之别,故喜山期不同变形幕形成的圈闭捕获天然气的起始时间也有早晚之分。若在生油岩厚度和有机质热演化程度相近的条件下,先形成的圈闭必然优先捕获天然气,反之则晚捕获天然气。形成早的较形成晚的圈闭运聚天然气的的时间要早几十至一千几百万年,随着有机质热演化程度增加,天然气也不断生成,至今这一过程也未终止。由于运聚时间长短不一,导致不同世代形成的构造圈闭(包括背斜圈闭或构造裂缝尖灭圈闭)天然气富集程度有所差异,即早形成的圈闭因天然气的运聚时间长,则富集程度高;而晚形成的圈闭则相反,甚至可能有一些形成很晚的圈闭尚未能富集成工业性气藏。因此,各背斜构造钻探成功率和探井成功率的高低随着背斜形成世代的先后而依次降低(表2)。故而圈闭形成早晚应是构造含油气评价的主要因素之一。

此外,对有机质演化程度高、以干气为主的气藏,通常认为保存条件尤为重要,若无巨厚的盖层或有接近甚至出露地表的断裂,都将造成已聚集的天然气藏重新散失。川东地区油气勘探实践证实油气保存条件也与构造有关。表3、4统计表明钻探成效的高低还与背斜隆起幅度大小和核部出露地层新老有关;图9也表明压力封闭的裂缝性气藏(普遍存在超高压现

表2 不同世代形成的背斜钻探成功率统计表

褶皱系名称	构造世代	已钻构造数 (个)	获气构造数 (个)	构造钻探成功率 (%)	探井数 (口)	获气井数 (口)	探井成功率 (%)
北北东向	一	15	9	60.0	53	20	37.7
近南北向 (或北北西向)	二	12	5	41.7	29	10	34.5
北东向 (或北东东向)	三	17	5	29.4	37	6	16.2
近东西向 (或北西西向)	四	2	0	0	2	0	0

表 3 背斜核部出露层位与钻探成效统计表

核部出露地层	已钻构造数 (个)	获气构造数 (个)	构造钻探成功率 (%)	探井数 (口)	获气井数 (口)	探井成功率 (%)
J ₂ -sc ²	17	9	52.9	36	11	30.6
J ₂ -sc ¹	3	2	66.7	7	2	28.6
J _{1z}	6	4	66.7	33	13	39.3
T _{3z}	7	3	42.9	26	9	34.6
T _{2l}	1	0	0	1	0	0
T _{1j} ⁵ 及以下	11	0	0	17	0	0

注：池 1 井未参加统计。

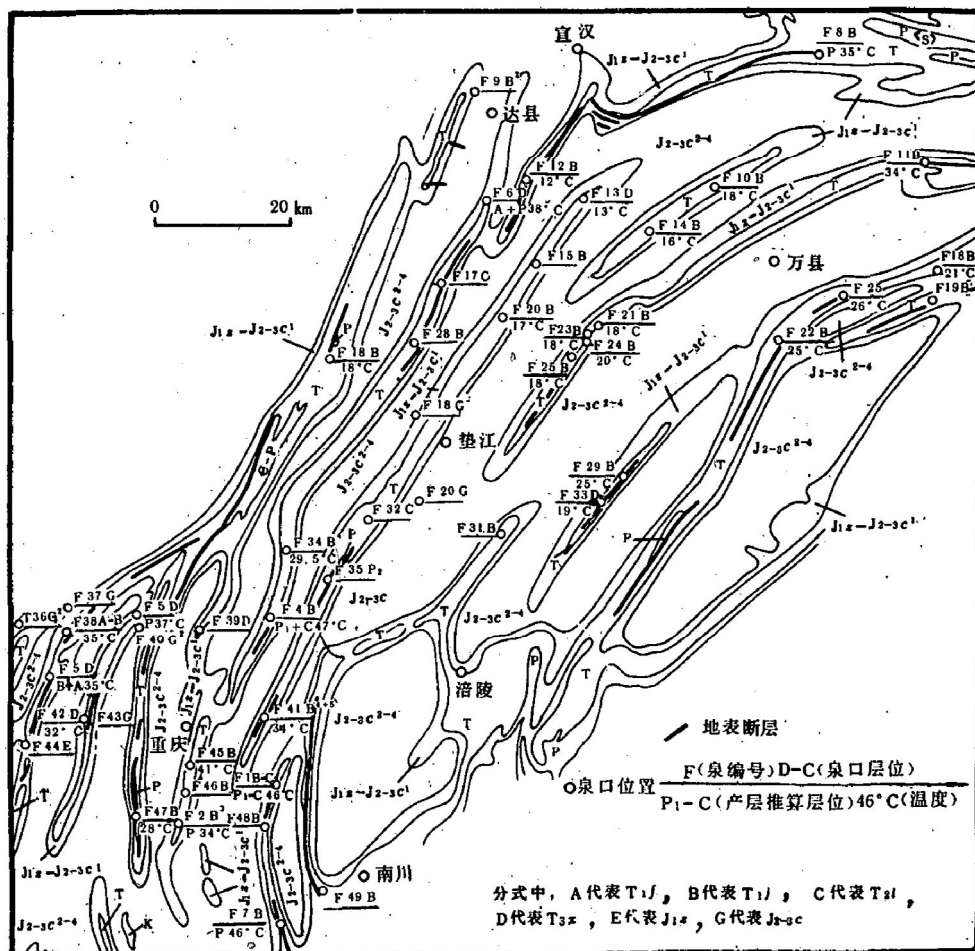


图 10 川东地区上升泉分布与断裂逆断层关系图

表4 背斜隆起幅度与钻探成效统计表

背斜隆起幅度 (m)	已钻构造数 (个)	获气构造数 (个)	构造钻探成功率 (%)	探井数 (口)	获气井数 (口)	探井成功率 (%)
<1000	12	7	58.3	24	8	33.3
1000—2000	15	6	40.0	47	15	31.9
2000—3000	8	5	62.5	32	12	37.5
>3000	10	0	0	17	0	0

注：池1井未参加统计。

象)的压力系数是随着背斜隆起幅度增加和核部出露层位变老而有下降趋势,这可能是压力散失的结果。这些都反映了盖层对天然气扩散的屏障作用。事实上,洩压部位往往有出露地表的断层,在其附近普遍存在上升泉(图10),且多为温泉,据泉水温度按地温梯度推算其水源层位,可知不少温泉均源于天然气产层或其邻近层位。它们显示了断层的逸散作用。因此,对含油气构造评价还应考虑受构造因素制约的圈闭保存条件。

优选构造的方法,是将上述认识的主要根据数据化、标准化,应用聚类分析方法进行构造排队。1985年以来,按此方法进行优选构造部署了一批探井,结果,构造钻探成功率达75%,探井综合成功率达66.7%,专层井的气井成功率达50%,勘探成效显著。

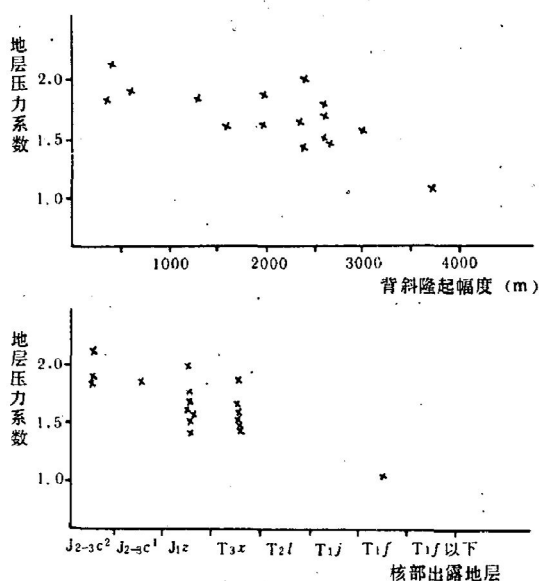


图9 背斜隆起幅度、核部出露地层与地层压力系数关系图

THE APPLICATION OF STRUCTURAL GEOMETRIC ANALYSIS TO HYDROCARBON PROSPECTING IN EAST SICHUAN

Dai Tanshen

Ou Zhenzhou

Wang Xu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Sichuan Petroleum Administration)

Abstract

The fractured gas reservoirs in east Sichuan, no matter they are anticline trapped ones or structural fracture pinch trapped ones, are all controlled by tectonic deformation. The hydrocarbon enrichment is closely related to Himalayan tectonic evolution. The tectonic evolution of the present region in Himalayan orogen has always been disputed, and the division of formation stages differs from each other. Therefore, the evolution in hydrocarbon-bearing structures may also be different. In application

of structural geometric and directional filter analysis, the structures can be divided into four fold systems in this paper according to the folds strikes, the dipping direction of pivots, the closure, cross-section pattern, amplitude and depth of folds as well as the configuration on stereographic projection map. Then the evolution of these folds is divided into four generation based on the alternative relationship of big and medium sized folds and the displaced fabric type of the pivots of small sized folds. The distribution and superimposition of the fold systems in south, north and central blocks differ greatly from each other due to the control of two northwest strike basement rifts.

Through rebuilding tectonic evolution history, the authors consider that, traps formed earlier have the priority to trap oil and higher enrichment, conversely, the enrichment may low; synclines that up-lifted higher in amplitude and emerged older in strata may have poor preservation condition, otherwise, the condition may good. Exploration in this area has proved that the ratio of success can reach 75% for the wells located according to the above mentioned.

WGRA 勘探层评价会议在马来西亚举行

CCOP 资源评价工作组 (WGRA) 勘探层评价会议, 于 1989 年 12 月 1—9 日在马来西亚 Bangi (吉隆坡以南 28 km) 的马来西亚石油公司培训管理学院举行。来自 8 个成员国家或地区 (中国、印尼、日本、马来西亚、菲律宾、南朝鲜、泰国、越南), 3 个 CCOP 合作国家 (加拿大、美国和挪威) 以及 CCOP 技术秘书处的 38 名代表参加了会议。

会上, 加拿大地调所的 R. M. Procter 和 G. Taylor 博士, 美国地调所的 D. Mast 和 G. Dolten 博士, 分别介绍了 PRASS 1 和 FASPUM 油气资源评价系统。

PRASS 1 (Petroleum Resource Appraisal Software System), 是由加拿大地调所李培然博士研制的石油资源评价软件系统。它包括具有资料输入、分析计算、绘图和报告编制等功能的 31 个模块, 可安装在 IBM 计算机上。该软件系统有两种资源评价方法: 一种是发现序次模式法, 适用于油气发现 (指油气藏式油气田) 不少于 8 个的地区; 另一种是主观概率模式法, 适用于油气发现不超过 8 个的地区。它们可以评价勘探层、沉积盆地或研究区的油气资源量, 包括总油气资源量、未发现油气藏的个数和序次大小以及储集岩的特征等。PRASS 1 曾用来评价加拿大的全国油气资源量, 并为欧洲、南美洲的许多国家所采用。

FASPUM (Fast Appraisal System of Petroleum Universal Metric) 是美国地质调查所 R. A. Crovelli 等研制的石油资源快速评价系统 (公制单位)。包括 4 个程序文件, 可以用在 IBM PC/XT/AT 微机上, 对老油区或者新探区的一个或一组勘探层的石油及天然气 (包括非伴生气和溶解气) 资源量进行计算。该评价系统采用概率分析法, 曾用来评价美国阿拉斯加国家石油储量区和北极国家野生动物保护区的石油资源量。目前为美国、挪威、马来西亚等国家所广泛应用。

会议期间, 各成员国代表运用这两种系统对其选定的勘探层进行了资源量估算。大家一致认为: 这两种方法均是很好的资源评价方法。其中, FASPUM 以快速、简便和特别适用于新探区为其特点; 而 PRASS 1 则具有更全面的评价功能。

美国地调所的 FASPUM 软件已于去年 9 月寄交各成员国。加拿大地调所在这次会议上也同意向各成员国提供 PRASS 1 软件。这将有助于 WGRA 成员国的油气资源评价工作。

(杨登维)