

文章编号:1001—6112(2009)01—0001—11

扬子克拉通继承性构造与新生构造 并存的时空发育特征及其对海相油气勘探的指导

吴根耀¹, 梁 兴², 马 力³
(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国石油天然气股份有限公司
浙江油田公司, 杭州 310013; 3. 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司, 江苏 扬州 225009)

摘要:继承性构造与新生构造时空发育特征的研究,是“盆”“山”耦合理论从指导含油气盆地的研究发展为指导油气勘探的道路上迈出的重要一步。以前寒武纪、加里东期、海西—印支期和燕山期 4 大构造阶段,重点剖析了上扬子北部地区(四川盆地)各阶段的构造线方向及其形成机制(与造山带发育的耦合演化),提出川东地区近期海相油气勘探取得重大突破的最主要经验是认识到同海相沉积期的新生构造被燕山期的新生构造高角度横跨形成了岩性—构造复合油气藏。与川东地区作比较,还分析了上扬子南部和中扬子地区各阶段的构造演化,提出前者与川东的最大不同是盆地发育与八布—Phu Ngu 洋(不是秦岭—大别洋)的演化耦合,且叠加了巨地幔作用的热隆升造山的影响;后者独特的基底构造对建造和改造长期有明显的制约。据上述分析探讨了上扬子南部和中扬子地区海相油气勘探的有利区块,认为黔西的贵阳—安顺一线以北(黔北盆地)尽管晚古生代及以后各期新生构造的方向与四川盆地不同,但仍是有望获得海相油气勘探突破的地区。

关键词:基底构造;同海相沉积期构造;燕山期构造;“盆”“山”耦合;海相油气勘探;扬子克拉通

中图分类号:TE121 **文献标识码:**A

TIME-SPATIAL DEVELOPING FEATURES OF CO-EXISTED INHERITED AND NEOGENIC STRUCTURES AND THEIR GUIDANCE TO MARINE ORIGIN OIL-GAS EXPLORATION IN THE YANGTZE CRATON

Wu Genyao¹, Liang Xing², Ma Li³
(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*
2. *Zhejiang Oilfield Company, China National Petroleum Corp., Hangzhou, Zhejiang 310013, China;*
3. *Jiangsu Oilfield, China Petroleum & Chemical Corp., Yangzhou, Jiangsu 225009, China*)

Abstract: The study on time-spatial developing features of co-existed inherited and neogenic structures is an important step for the basin-orogeny coupling from a direction of petroliferous basin study to a guidance of oil—gas exploration. The exploration of marine origin oil-gas pool in China has taken a very tortuous road, and now it is in urgent need of new theoretical guiding. Taking the northern part of Upper Yangtze area (the Sichuan Basin) as an example, the paper described the orientation of structural line and its mechanism (coupled evolution with the neighbouring orogenic occurring) in the Precambrian, Caledonian, Hercynian—Indosinian and Yanshanian tectonic stages. A key knowledges for recent good progress of marine oil—gas exploration in the easetrn Sichuan Basin was lithologic-structural compound pool created by the Yanshanian neogenic structure (NE—orientation) acrossing the syn-marine sedimentary neogenic structure (NW—striking), which were named the 2nd and 3rd generation of neogenic structures respectively. In the western Sichuan Basin, the 3rd generation of neogenic structure was NEE—striking. To compare with eastern Sichuan, the paper analysed the orientation of structural line of each tectonic stage in the southern part of Upper Yangtze area (Guizhou) and Middle Yangtze area (Hubei) respectively. An obvious distinction in Guizhou might be that evolution of the epicontinental sea basin was coupled with the Babu—Phu Ngu ocean to the south (instead of the Qinling—Dabie ocean to the

north of the Yangtze craton). In addition, Guizhou area was influenced by the plume tectonics in Late Permian—Early Triassic. The unique basemental structures (the N—S Huangling continental nucleus and the NE—striking Paleo—Tan—Lu fault zone) in Middle Yangtze area constrained the regional formation and deformation for a long time. Based on what mentioned above, the beneficial districts for marine oil—gas exploration in Guizhou and Hubei areas was discussed, which thought that the North Guizhou Basin (to the north of Guiyang—Anshun in west Guizhou) might be a hopeful area, although the orientations of Late Paleozoic and Mesozoic neogenic structures varied from the Sichuan Basin.

Key words: basemental structure; syn—marine sedimentary structure; Yanshanian structure; basin-orogeny coupling; marine origin oil-gas exploration; the Yangtze Craton

我国目前开采的绝大部分石油和大部分天然气储于陆相地层中,并以陆相地层为其源岩。2000年的统计资料显示:产于海相层且其油源亦为海相或滨海相煤系的石油仅占全国探明石油储量的1.4%,相应的天然气则占全国探明气储量的35.3%^[1]。随着我国陆地上的晚中生代—新生代陆相盆地总体上已经勘探,下一步的勘探领域必将转向古生代海相地层,我国石油工业的“二次创业”也寄希望于此^[2,3]。松辽(及海拉尔等)盆地下一步的勘探目标主要是侏罗纪—早白垩世的火山岩储层,但钻孔中揭露的石炭—二叠系海相沉积^[4]表明远期的勘探接替区仍主要是海相地层。

对海相油气田的成藏条件已进行了大量的研究,大致是围绕其有效烃源、有效储集体和保存条件三者展开的。对海相地层也已进行了多年的勘探并走过了极为艰难曲折的道路,难度大、风险性高已成为不争的事实。对这种困难性的理解和归纳,则是仁者见仁,智者见智。

造成错综复杂的海相油气成藏史的根本原因是经历了复杂的构造—热演化史。我国及邻区在中元古代末至新元古代早期普遍被卷入了格林威尔造山运动(我国称晋宁运动),并成为该运动造就的罗迪尼亚超大陆的一部分,震旦系是格林威尔造山带坍塌之后发育的第一个海相沉积盖层^[5,6]。如果以南沱组冰碛岩、灯影组白云岩(或白云质灰岩)和震旦纪末—寒武纪初磷块岩(或含磷沉积)的“三位一体”组合来追溯当时的超大陆范围,则可发现它从扬子向西经塔里木、哈萨克斯坦至中亚盐岭地区,长度可逾5 000 km^[7]。之后该超大陆裂解,在陆壳残块(华北、扬子和塔里木等克拉通)上发育陆表海沉积,围绕这些陆壳残块的洋盆内则为深海—半深海沉积。克拉通作为整体,在古生代里可能经历过多次的隆升—沉陷过程;同时,其不同部位因受制于邻侧的洋盆发育(造山带演化)而表现出不同的特点。二叠—三叠纪时,上述的3大克拉

通先后结束海相沉积期,叠加了中—新生代陆相盆地,并经受了燕山运动和喜马拉雅运动的改造。

综合上述可以发现:1)中国及邻区大陆的演化经历了多次剪切拉伸—剪切挤压的构造旋回,构造叠加现象十分明显;2)据后期构造与前期构造的关系(构造线方向),可将后期构造分为继承性构造与新生构造;3)一个地区某一地史阶段新生构造的出现,主要受邻侧的洋盆发育和造山带演化(包括陆内造山带演化)制约。因而,“盆”“山”耦合和脱耦作为含油气盆地研究的新思路^[8,9],在采用“反序”的方法逐层剥去(晚)中生代—新生代的改造^[10]之后,有可能以构造为主线并从一个新的视角剖析海相油气田的石油地质特征和成藏—保存条件。

本文作者之一已探讨过巨型断裂带的形成和解体过程中继承性构造与新生构造并存发育的复杂情况^[11],也初步分析了继承性构造与新生构造并存的时空发育特征在中国中—东部不同时代盆地中进行油气勘探的意义^[12]。本文试图在汲取他人对扬子海相勘探的最新研究成果^[13~19],尤其是发现普光和龙岗气田的重大突破的基础上,以“盆”“山”耦合为指导,分阶段简述扬子克拉通的建造—改造史,进而剖析各地史阶段出现的新生构造并探讨其在海相油气勘探中的意义。限于掌握的资料和作者的认识水平,许多认识可能十分粗浅,也难免捉襟见肘或失之偏颇;本文权作引玉之砖,期望广大同仁的批评指正。

1 上扬子北部地区(四川盆地)

1.1 基底构造

上扬子地区出露有中—新太古代花岗—绿岩地体(结晶基底)的残块,沿扬子克拉通西缘呈南北向展布。克拉通内的基底构造线为近东西向,源自跃迁期(transition)古陆壳裂解时三叉裂谷系伸进陆内的第三支(即aulacogen)的发育及其晋宁运动时的闭合^[6,20]。在上扬子的中—南部,晋宁期的东

西向构造(褶皱)—岩浆岩带自北至南有:1)位于北纬 $29^{\circ}10'$ 至 $29^{\circ}40'$ 的四川石棉—峨边带;2)位于西昌与德昌之间(北纬 $27^{\circ}\sim 28^{\circ}$ 左右)的东西向构造带,东延可达云南昭通;3)北纬 $26^{\circ}10'$ 至 $26^{\circ}40'$ 的会理—会东—东川带,东延入贵州纳雍、贵阳等地;4)位于云南易门与武定之间(北纬 $24^{\circ}40'$ 至 $25^{\circ}30'$)的东西构造带,东延可入黔南;5)位于北纬 24° 左右的新平带^[20]。四川盆地内尽管有巨厚的(古生界—)中生界发育,据对古生界沉积的控制仍可识别出基底中的两条东西向构造带。一条位于北纬 30° 左右(乐山与遂宁之间)^[21],西延至前寒武系出露区可对应雅安与宝兴间的东西构造带^[20];另一条是位于 $32^{\circ}30'$ 附近的广元—南江带^[22](图 1)。

震旦—奥陶纪时,尽管局部出现过北东向或北西向的沉降中心(如雅安—乐山—宜宾北西向的沉降带^[21]),震旦纪末的隆升(桐湾运动)造成四川盆地的西部发生隆起,但总体看是基底中的东西向构造控制了沉积相的分异和厚度的变化。当时的上扬子地区有 2 个明显的水下隆起,一是川中隆起(乐山—龙女寺古隆起的雏形),二是黔中隆起。由于下古生界普遍含沥青且以古隆起的高部位含量较多,故沥青丰度(样品中沥青的平均含量)的等值线大致呈东西向延伸^[21]。

1.2 第 I 期新生构造

志留纪的上扬子地区为两隆两拗组合,即乐山—龙女寺古隆起、川南拗陷、黔中古隆起和湘鄂西拗陷^[13],构造线方向已转变为近北东向。换言之,

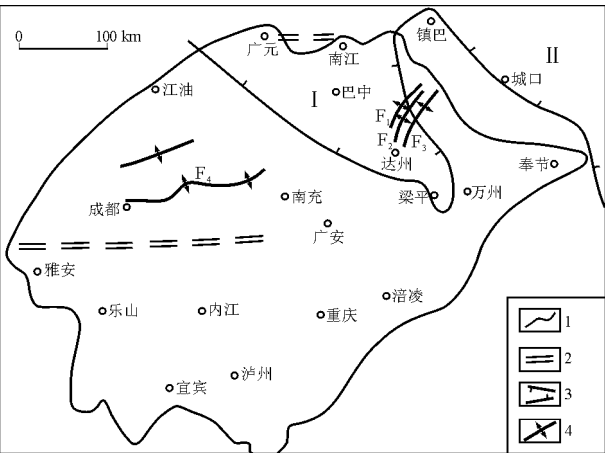


图 1 四川盆地的基底构造和新生构造简图

1. 现存的四川盆地边界;2. 基底中的东西向构造;3. 晚二叠—早三叠世的台盆边界(参阅魏国齐等^[23],图 7 同);4. 含油气构造带
I. 开江—梁平台盆;II. 城口—鄂西台盆;
F₁. 分水岭—铁山;F₂. 毛坝场—付家山—双庙场;
F₃. 普光—东岳寨—双石庙;F₄. 孝泉—新场—合兴场

加里东运动时上扬子地区的北东向构造是第 I 期新生构造,其出现受制于华南的加里东期板间造山作用。

本文作者之一曾提出:华南有 3 条加里东期的缝合线,自西向东分别称寿城(湖南称城步—新化)断裂(以桂北龙胜的蛇绿岩为标志)、云开—武夷断裂和丽水—政和—大埔断裂^[24~27]。前者是一条岩石圈厚度的突变带^[28]。加里东运动时,扬子、湘赣、华夏和浙闽 4 个克拉通(微大陆)分别沿城步—新化、云开—武夷和丽水—政和—大埔缝合线发生碰撞拼合,形成华南次大陆。上扬子地区志留纪—石炭纪的沉积演化是与沿城步—新化断裂拼合的这一造山事件耦合发育的,除前述志留纪的隆、拗呈北东走向间互排列外,还表现在以下方面。

1.2.1 乐山—龙女寺古隆起的定型

泥盆纪大面积隆起,下石炭统仅见于川东(含重庆,下同)一隅,北东向的乐山—龙女寺古隆起定型。古隆起轴部的宝兴—资 1 井,灯影组顶部地层已遭剥蚀(灯影组四段下亚段直接被二叠系不整合覆盖),向南东侧依次见残留有寒武系和奥陶系。通俗地说,泥盆纪—早石炭世时因北东向的乐山—龙女寺古隆起的发育,四川盆地向南东倾斜。

1.2.2 二叠纪构造—沉积格局

上扬子地区晚石炭世开始海侵,二叠纪进入海侵全盛期。受其西的金沙江洋盆和甘孜—理塘洋盆二叠纪开始向西消减的影响^[29],被动大陆边缘地区发生解体且向西沉陷的幅度增大,因而二叠纪时四川盆地区已变成向北西倾斜(龙门山区的前震旦纪花岗岩可被二叠系覆盖);原乐山—龙女寺古隆起二叠纪(一早三叠世)已成为沉陷区(川西拗陷),兼之北东向的华蓥山断裂和明月峡断裂的活动,在重庆—万州一线以西出现北东向的泸州—梁平(开江)古隆起^[30]。在该古隆起的东南则有湘鄂西拗陷发育(图 2)。即:中—上扬子地区自西北向东南依次为川西拗陷、泸州—开江古隆起和湘鄂西拗陷,二叠纪—早三叠世的沉积格局仍继承了加里东运动造成的北东向构造。

1.2.3 北东向构造的意义

北东向构造在志留纪出现且在二叠纪得到发展壮大,它对油气运聚有重要的意义。因志留系厚度可达 600~1 000 m(水下隆起部位厚 190~430 m),可能形成区域性的地层封闭型的油气聚集带,北东向的乐山—龙女寺古隆起为下古生界油气的第一次运聚提供了低势能带。泸州—开江古隆起的发育则成为下古生界油气的第二次运聚的指向

Fig. 1 A simplified map showing the basement and neogenic structures in the Sichuan Basin

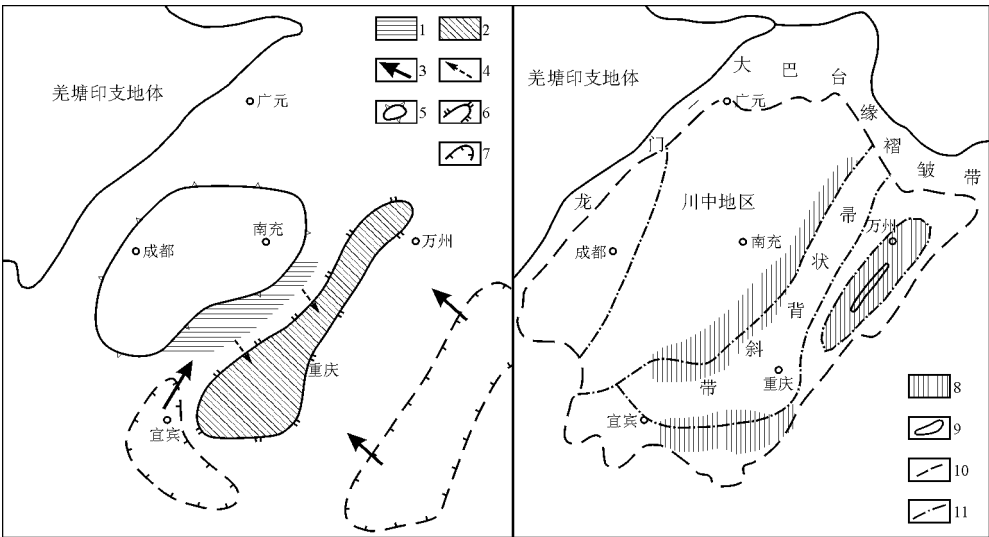


图 2 印支运动及以前(左)和燕山—喜马拉雅期(右)四川下古生界天然气聚集地带示意^[31]

1. 第 1 次聚集地带;2. 第 2 次聚集地带;3. 二次运移方向;4. 再次运移方向;5. 乐山—龙女寺古隆起;
6. 泸州—梁平古隆起;7. 下古生界生烃坳陷(湘鄂西);8. 可能聚集带;9. 大池干井背斜;10. 四川盆地边界;11. 区域构造边界

Fig. 2 Natural gas gathering areas in Sichuan during the Indosinian (left) and Yanshanian—Himalayan (right) periods

区。即:北东向的泸州—开江古隆起成为古生界和下三叠统油气的聚集带^[31]。

1.3 第Ⅱ期新生构造

四川盆地区(中—)晚二叠世和早三叠世早期(即飞仙关组沉积期)沉积相带(尤其是有利油气储存的礁滩相带)的展布呈北西向(图 3a,3b)^[32]。曾有人提出沿广元—旺苍—开江—梁平一线发育北西向的海槽^[33]来解释这一现象。因未见火山岩和典型的深水沉积及深水化石,水体深度仅 200~300 m^[34],本文称开江—梁平台盆(图 1)。北西向构造是上扬子北部地区的第Ⅱ期新生构造,本文拟强调以下认识:1)该期新生构造的发育与勉县—略阳洋盆的扩张有关。该洋盆在泥盆—石炭纪张开,(282±8.5)Ma 和(261±0.25)Ma 的⁴⁰Ar—³⁹Ar 年龄指示洋盆二

叠纪发生强烈扩张^[35,36]。上述的北西向构造,实际上是勉略洋盆扩张的板内响应,可类比为三叉裂谷系伸入陆内的第三支,尽管未形成深水的海槽。2)开江—梁平台盆的东界为长兴组—飞仙关组沉积期的同沉积正断层,控制沉积相带的展布依次为盆地相—斜坡相—台缘礁滩相—开阔台地相—局限台地相—蒸发台地相^[23],沿其它台盆边缘的同沉积正断层也有作为优质储层的礁滩相白云岩发育,故该期新生构造的重要性是控制了岩性圈闭的发育^[37,38]。3)前已述及,加里东期形成的北东向构造可延续到二叠纪—早三叠世,表现为北东向的挤压隆起区(泸州—开江古隆起)。海西—早印支期的北西向新生构造是伸展构造(尽管不是强烈伸展也未造成深水海槽出现),因而两者在空间上

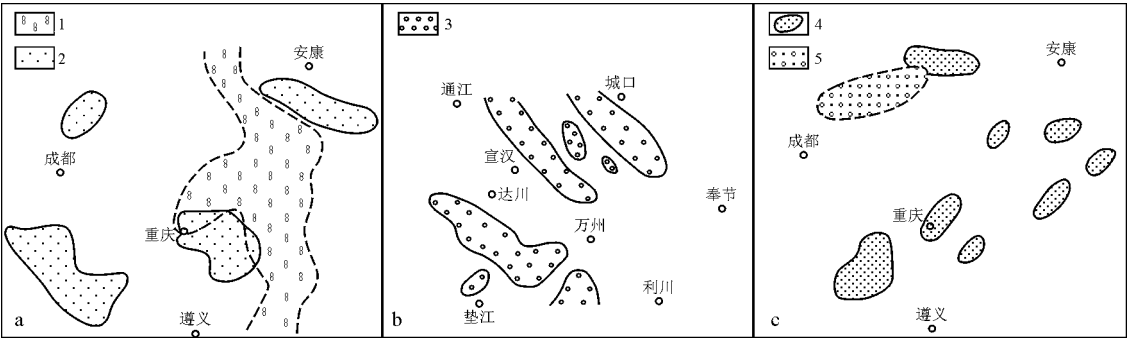


图 3 四川盆地东部礁滩相沉积分布简图

据文献^[32],略有修改

a. 中二叠世晚期—晚二叠世;b. 早三叠世飞仙关组;c. 早三叠世晚期—中三叠世
1. 生物礁;2. 台内浅滩;3. 鲕粒滩坝;4. 嘉陵江组滩体;5. 雷口坡组藻屑浅滩

Fig. 3 Distribution of reef—beach facies sediments in the eastern Sichuan Basin

和谐地共存。早三叠世晚期(嘉陵江组沉积期),随勉略洋盆停止扩张(该洋盆于中三叠世闭合),北西向伸展断层停止活动,北东向构造重又显现了它控制沉积相带发育的作用(图 3c)。

1.4 第Ⅲ期新生构造

第Ⅲ期新生构造形成于燕山期,因与不同的造山带耦合,四川盆地的东部与西部地区该期新生构造有不同的方向。

1.4.1 东部地区

东部地区的第Ⅲ期新生构造系陆(板)内造山运动的产物,造山的机制是加里东期古缝合线因亚洲大陆东缘地区的斜向汇聚—剪切造山作用(属板间的造山作用^[39~41])而被激活^[26,27],故构造线方向表现为北东向。西南地区的燕山期陆内造山带称川黔湘褶皱—冲断系,自南东向北西可分为根带、湘西—黔东南基底褶皱—冲断带、黔北箱状背斜褶皱—冲断带和川东梳状背斜褶皱—冲断带。在基底褶皱—冲断带的下盘有磨拉石盆地发育(沱陵—麻阳盆地),典型的磨拉石建造是中侏罗世的沱陵组,可上延至早白垩世^[25,27]。伴随冲断活动有大规模的白云母花岗岩和二云花岗岩侵入,指示陆内俯冲的发生。花岗岩活动的上限为 122 Ma^[42],与磨拉石记录指示的造山时期一致。

现称的四川盆地主要指侏罗纪开始发育的陆相红盆,因而燕山期的北东向构造实际上是控盆构造。川东地区位于上述的梳状背斜褶皱带,以北东向的华蓥山断裂与川中盆地分界。该带属低应变的前锋带,梳状背斜褶皱控制了构造圈闭的发育,即:川东北地区形成一系列的北东向含油气构造带(图 1),其中以毛坝场—付家山—双庙场构造带和普光—东岳寨—双石庙构造带最为重要。单个含油气构造也为北东向,如普光构造是东岳寨—普光断层控制发育的一个断鼻。对成藏要素和成藏过程的研究^[37,38]表明:在晚印支—早中燕山期古油藏开始形成,中燕山期末,古油藏在向气转化的同时接受部分源岩干酪根热降解气的充注;喜马拉雅中—晚期,现今的构造格局形成,不同来源的天然气发生再富集并在现今的构造—岩性复合圈闭中定位成藏。四川盆地的独特性在于喜马拉雅运动时发生闭锁(燕山运动构建的“盆”“山”关系得以继承发育)^[8],因而有利于油气的再富集和保存。

综上所述,四川盆地东部地区的 3 期新生构造是盆地发育分别与 3 期造山作用耦合的产物;加里东期的北东向构造是华南次大陆的拼合形成在陆内的反映,直接受制于其东南侧沿城步—新化缝合

线发生的碰撞造山作用;海西—早印支期的北西向同沉积正断层与勉略洋盆的扩张有关,受制于其北侧的西秦岭造山带的演化;燕山期的北东向构造是川东地区被卷入川黔湘褶皱—冲断系(燕山期的陆内造山带)的结果。川东地区近年内发现的 30 余个海相油气田,实际上均受后两者的新生构造控制,即:北西向构造控制了岩性圈闭,燕山期北东向构造控制了构造圈闭;北西向构造与北东向构造的复合部位则形成构造—岩性复合圈闭,是最有望获得海相油气田勘探的重大突破的地点,如普光气田和位于其西南的龙岗气田。因川黔湘褶皱—冲断系以华蓥山断裂为西界,故燕山期的该期北东向构造仅限于四川盆地东部发育,向西未越过华蓥山断裂构造带。

1.4.2 西部地区

该区也被卷入了燕山期的褶皱,故发育有第Ⅲ期新生构造,但不表现为北东向。已有研究表明^[43]:该区晚三叠世晚期(须家河组四段沉积期)开始至侏罗纪,沉积的展布(包括沉积相带的延伸、厚度等值线分布等)呈北东东向,中侏罗世(千佛岩组至上沙溪庙组沉积期)这一北东东向构造表现得尤其清楚。相应地,侏罗系褶皱轴线也为北东东向,与北东走向的龙门山断裂带斜交,被认为是由太平洋向北西的推挤和冈底斯—拉萨地块向北东的推挤形成的压扭性应力场所致^[44,45]。

四川盆地西部的燕山期构造之所以与川东地区表现出不同的走向,是因两者与不同的造山带耦合发育所致。勉略洋闭合后,甘陕交界处的西秦岭造山带依变形特点的不同可分为 3 段。中段(康县—洋县)是西秦岭造山带的主体,东西走向,变形以双向推覆为特征,尤在略阳—白水江地区表现典型^[46]。东段即大巴山弧形构造带,总体走向近北西,因其前缘的城口—钟宝断层具明显的右行走滑特征^[47],因而前陆褶皱—冲断带的宽度小,对四川盆地北部的改造也相对较弱。西段(自康县经文县入四川省)则可能受制于碧口地块的发育等边界条件而呈北东东走向,这在四川盆地西北部中三叠统的相带分布(图 3c)上已可见端倪。就秦岭造山带演化的时间序列而言,中—晚三叠世的冲断(可能延入早侏罗世)属板间的碰撞造山作用;之后,因扬子克拉通再次俯冲于华北克拉通之下^[48,49],秦岭山链再度崛起成为燕山期的陆内造山带;而且,燕山期陆内造山带的造山极性和构造线方向均继承了秦岭印支期碰撞造山带的特点,其西段的构造线为北东东向。

四川盆地西部侏罗纪的构造演化与秦岭燕山期陆内造山带西段的发育耦合。随扬子克拉通向北偏西俯冲于华北克拉通之下,四川盆地西部位于陆内造山作用的前陆地区,有北东东向的前陆褶皱—冲断带发育。这些北东东向的褶皱隆起带是油气运移的指向地带;兼之隆起带上裂缝和微裂缝相对发育,对致密砂岩的储集能力有较大改善,因而该区的油气分布主要受北东东向褶皱控制,尤以孝泉—新场—合兴场构造带的油气田分布集中^[43,50](图4)。从图4上还可发现北西向构造控制油气田分布的作用。据此认为,尽管它与四川盆地东部的燕山期构造有不同的方向,两者的共同点是第Ⅱ期新生构造和第Ⅲ期新生构造共同控制了岩性—构造复合圈闭。

中国西南地区被卷入了喜马拉雅运动,四川盆地在该期运动中是一负向的构造单位,冲断作用沿盆缘的断裂带发生(尤以西缘的龙门山冲断带的活动强烈)。笔者等曾提出四川盆地在喜马拉雅运动时发生了闭锁,海相沉积和晚中生代煤系地层仍为有效烃源岩^[8,51];本文则进一步认为,海相油气勘探取得突破的关键是认识第Ⅱ期和第Ⅲ期新生构造的时空发育特征。

2 上扬子南部地区(贵州及邻区)

前面的叙述中已经提到:上扬子地区在早古生代时具基本相同的构造发育历程。晚古生代开始其南、北两地有不同的区域构造演化,受控于两地

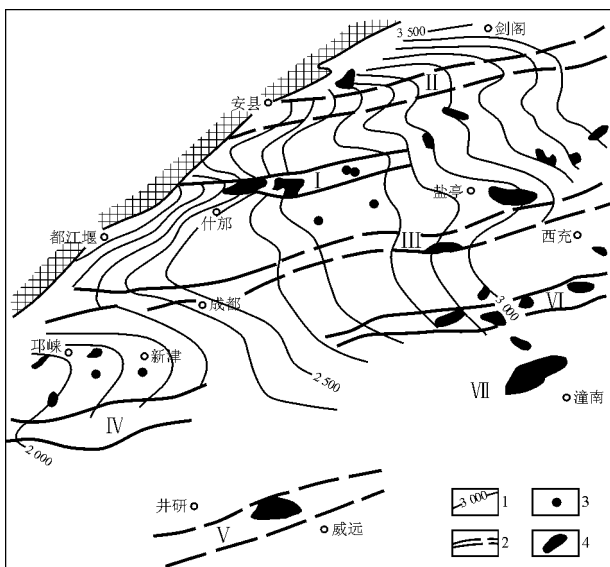


图4 四川盆地西部燕山中—晚期构造带与油气田分布^[43]

1. 侏罗系等厚线/m; 2. 燕山中—晚期构造带; 3. 油气井; 4. 油气田

Fig. 4 The middle-late Yanshanian folded belts and distribution of oil-gas fields in the western Sichuan Basin

的盆地发育与不同的造山作用耦合,即北部与秦岭造山带的演化耦合而南部受八布—Phu Ngu洋^[52~54]的后退式消减及嗣后的陆—弧碰撞制约;此外,南部地区还叠加了以峨眉山玄武岩喷发为记录的巨地幔柱活动的隆升造山的影响,四川盆地之下则未见峨眉山玄武岩发育(图5,仅在盆地西南隅的邛崃龙泉山以南,钻孔揭露玄武岩并含天然气)。以下将据这一思路对贵州及邻区晚古生代—中生代的新生构造作简要叙述。

2.1 海西—印支期新生构造

八布—Phu Ngu洋盆的张开受由北西走向段和北东东走向段组成的锯齿状断裂控制。中泥盆世—早石炭世岩关期,洋底扩张主要沿北东东走向段发生,故贵州境内的沉积相带展布由近北东东向(为主)转为近北西向;之后洋盆扩展主要沿北西走向段发生,沉积相带的展布相应地改变为近北西向。晚二叠世巨地幔柱形成,以北东东的开远—贵阳断裂为东南界。受之影响,黔西地区出现陆相沉积且与黔中—黔东的浅海相沉积的界线为北东东;早三叠世巨地幔柱活动结束,原热隆起区沉陷,且因黔西北先发生海侵而海、陆相沉积区之间的界线偏转为北北东向。本文作者等^[55]已著文论述过该阶段沉积—构造格局的变化及其与造山作用的耦合关系,此处不再赘述。

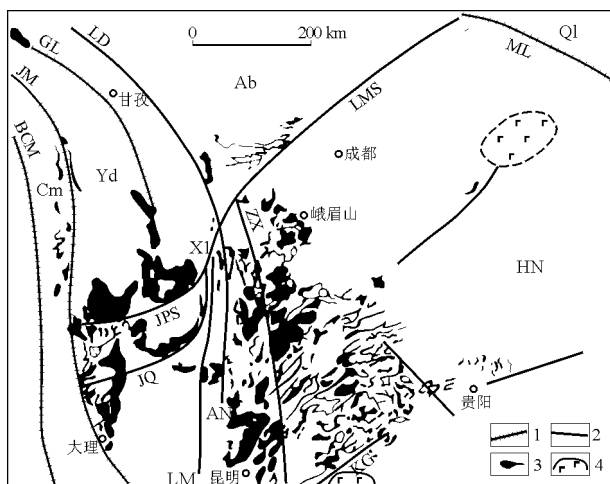


图5 中国西南地区峨眉山玄武岩分布图^[25]

1. 古特提斯缝合线; 2. 断裂; 3. 峨眉山玄武岩露头; 4. 推测的隐伏玄武岩

缝合线名称: BCM. 碧土—昌宁—孟连; JM. 金沙江—墨江; GL. 甘孜—理塘; ML. 勉县—略阳

断裂名称: LD. 炉霍—道孚; AN. 安宁河; ZX. 昭觉—小江; KG. 开远—贵阳; JPS. 锦屏山; JQ. 金河—箐河;

LM. 绿汁江—磨盘山; LMS. 龙门山

陆块名称: ST. 缅甸马微大陆(克拉通); Cm. 察雅—芒康地块; Yd. 义敦地块; Ab. 阿坝地块; HN. 华南次大陆;

QL. 南秦岭地块; NC. 华北克拉通

Fig. 5 Distributon of the Emeishan basalt in SW China

八布—Phu Ngu 洋的闭合受锯齿状断裂的压扭性活动控制^[56,57]。北西走向段的洋壳先发生向南西的消减(向北东后退),之后北东东走向段的洋壳发生向南偏西的消减。陆—弧碰撞形成了一条内部结构十分复杂、由北西向断裂和北东东向断裂组成的宽阔剪切—挤压断裂系。北东东向断裂的活动常为北西向断裂所限且常表现为弧形的冲断推覆带,如为北西向的文山—麻栗坡断裂和靖西—那坡断裂带所限的西畴弧形构造带。北东东向断裂的冲断推覆活动常伴以(或继之以)北西向断裂的右行走滑或右行斜冲。黔南和黔中的广大地区被卷入了印支期的前陆褶皱—冲断带,贵阳及附近的二桥组(瑞替期沉积)指示了当时的磨拉石盆地发育。

简言之,贵州晚古生代—中三叠世的陆表海盆地演化受两个造山带演化制约,但巨地幔作用活动时间短,且对贵州境内的影响范围仅限于西部。

2.2 燕山期新生构造

贵州境内的燕山期变形可分为 2 个断裂系统(图 6)。黔东南地区是前述的因城步—新化加里东期缝合线活化而形成的宽阔的燕山期陆内造山带(冲断作用伴有花岗岩侵入和磨拉石盆地发育等),

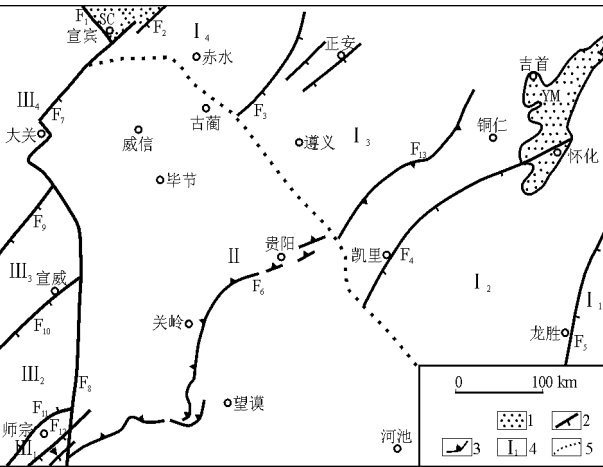


图 6 贵州及邻区燕山期陆内造山带

1. 侏罗—白垩纪盆地; 2. 逆冲断层(齿在上盘);
3. 盘江逆冲—推覆构造带的前锋断层; 4. 构造单元及编号;
5. 推测的川黔湘褶皱—冲断系的西南界
断裂名称: F₁. 峨眉—宜宾; F₂. 华蓥山; F₃. 七跃山—金佛山;
F₄. 凯里—玉屏; F₅. 城步—新化; F₆. 盘江逆冲—推覆带;
F₇. 大关; F₈. 威宁—罗平; F₉. 会泽; F₁₀. 宜良—宣威;
F₁₁. 弥勒—师宗; F₁₂. 开远—贵阳; F₁₃. 梵净山断裂带
褶皱—冲断带名称: I. 川黔湘(—鄂南)褶皱—冲断系; I₁. 根带;
I₂. 湘西—黔东南基底褶皱—冲断带; I₃. 黔北(—鄂南)
箱状背斜褶皱—冲断带; I₄. 川东梳状背斜褶皱—冲断带;
II. 盘江逆冲—推覆构造带; III. 川南—滇东褶皱—冲断系;
III₁. 根带; III₂. 昆阳基底褶皱—冲断带; III₃. 会东箱状背斜
褶皱—冲断带; III₄. 马边梳状背斜褶皱—冲断带
盆地名称: SC. 四川; YM. 沅陵—麻阳

Fig. 6 Yanshanian intracontinental orogens and thrust belts in Guizhou and adjacent areas

即川黔湘(—鄂南)褶皱—冲断系,构造线方向总体为北东向。在黔东南及邻区依卷入变形的地层层位,自东向西可分为 4 个变形带^[25,26]:一是根带,由花岗岩和前震旦系及震旦系岩石构成核部的穹隆组成;二是湘西—黔东南基底褶皱—冲断带,以基底变质岩系卷入冲断作用和发育较深层次的变形为特征,西界是凯里—玉屏断裂;三是黔北箱状背斜褶皱—冲断带,西界是七跃山(齐岳山)—金佛山断裂,以梵净山断裂带为界又可分为 2 个亚带,东亚带内仍有变质岩卷入,西亚带内主要出露古生界;四是川东梳状背斜褶皱—冲断带,卷入变形的地层主要是中生界,以华蓥山断裂(西南延为大关断裂)为西界。黔东南的该期变形与四川盆地东部的第Ⅲ期新生构造属同一运动学系统。

黔西地区燕山期变形以多层次席状逆冲—推覆构造为特征,称盘江逆冲—推覆构造带^[58]。它在安顺以西表现清楚,其前锋断裂大致沿镇宁—关岭—贞丰—册亨—兴义—云南罗平一线展布,呈向南东凸出的弧形。其主体构造线应为北东东向,向南偏东冲断。据侏罗系已卷入变形和被上白垩统不整合覆盖^[58]可确定其为燕山期变形。

本文对这一逆冲—推覆构造带进一步提出以下认识:1)图 6 上所示的仅是其前锋断裂的位置,层间滑脱面的层位较高(仅有三叠—侏罗系卷入变形),向北尤其是滇黔交界的富源—盘县地区可见大片上古生界卷入变形,更北可见下古生界卷入,反映层间滑脱面的层位变深和该逆冲—推覆构造带内部结构的复杂。鉴于尚未发现相伴的花岗岩侵入和磨拉石盆地,仍称其为逆冲—推覆带而不视为陆内造山带。2)该带西延至云南罗平后止于川南—滇东褶皱—冲断系(燕山期陆内造山带^[59])。该褶皱—冲断系向西北冲断扩展,但弥勒—师宗断裂向南东冲断^[59]。一种可能是:弥勒—师宗断裂曾是盘江逆冲—推覆构造带的西延,后被威宁—罗平断裂错开,并被包容于川南—滇东褶皱—冲断系中。盘江逆冲—推覆带向东可追溯至贵阳,更东延的部分则可能受到川黔湘褶皱—冲断系的改造或被包容于后者中。3)夹持在 2 个朝向北西的冲断系(即川黔湘和川南—滇东冲断系)之间的盘江逆冲—推覆构造带却发生朝向南东的冲断,说明这三者之间的两条边界断裂(西为威宁—罗坪断裂,东界则可能是一条隐伏的北西向断裂)起了构造变换(transfer,或称调节)带的作用。此外,一个可能的原因是黔西地区的演化与另一个燕山期造山带的发育耦合。从粤桂交界区近北东向的博白—罗

定—广宁断裂和吴川—四会断裂燕山期都发生自北西向南东的冲断—推覆^[60]推测,黔西地区与云开地区(属粤海印支期板间造山带的粤桂段)同属一个盆山系统,这将留待今后的进一步研究证实。

2.3 与四川盆地东部的对比

2.3.1 新生构造方向

第Ⅱ期新生构造是海相沉积期的同生构造,贵州与川东不同的是该期构造有多种方向,包括北西向、北东东向和北东—北北东向,且其发育随地而异(北东—北北东向构造仅见于黔西)。第Ⅲ期新生构造是上叠在海相盆地之上的陆相红盆发育期的同沉积构造,黔东与川东同属川黔湘褶皱—冲断系,但属于该冲断系的基底褶皱冲断带和箱状背斜褶皱—冲断带,前震旦纪变质岩系已卷入变形,变形程度显然较川东高。黔西地区则出现了近北东走向的朝南东的逆冲—推覆,可能指示了另一个燕山期“盆”“山”系统的发育。

2.3.2 构造演化

贵州晚古生代—三叠纪的演化主要与滇桂交界处的增生弧型造山带的发育耦合^[55],陆—弧碰撞相对陆—陆碰撞而言属软碰撞。上文所说的各期不同方向的新生构造,在造山带及克拉通的刚性基底中常表现为平直的断裂,在克拉通内部或表层的盖层沉积中则常见大量弧形构造发育。油气勘探希望发现大面积内有新生构造高角度的上叠或横跨在前期构造之上,而大量的弧形构造发育显然是不利于这一点的。

2.3.3 油气地质条件

就油气勘探而言,可据新生构造发育特点的不同而将贵州分为2个地区评价。黔东地区重点分析燕山期的北东向构造与海西—印支期的北东东向构造和北西向构造并存发育的特征,黔西地区重点分析燕山期的北东东向构造与海西—印支期的北东—北北东向构造及北西向构造并存发育的特征。总体看黔西的石油地质条件优于黔东。该区的礁滩相沉积和煤系地层十分发育,可借鉴川东的经验,以分析同生构造对沉积相带发育的控制为突破口。

四川盆地得天独厚的地质条件是喜马拉雅运动时处于闭锁状态。贵州似乎不具备这一条件。对西邻的云南的研究表明喜马拉雅运动可分为3大变形幕:第Ⅰ幕为南北走向的冲断层活动,向东扩展;第Ⅱ幕为北西向断裂的走滑活动;第Ⅲ幕为东西向断层的向南冲断^[61]。第Ⅰ幕和第Ⅲ幕变形对贵州的影响不大,但北西向哀牢山断裂在古近纪

的多次强烈左行走滑^[62]及红河断裂在新近纪的右行走滑(兼有正断)^[63]可能使贵州的北西向断裂在新生代重新活动。这是在评价油气远景时首先要考虑的。

3 中扬子地区(湖北)

3.1 基底构造

与上扬子地区相比,该区的基底构造有2个明显的特点。一是鄂西(宜昌以西)的黄陵地区有扬子克拉通最古老的基底片麻岩(结晶基底)发育^[6],构成长轴近南北向的穹隆状构造,在漫长的地史期间对后期的沉积和变形事件有明显的影响。二是鄂东的北东向断裂,即郧庐断裂入湖北黄梅后,转换连接团风—麻城断裂,构成扬子克拉通与其东的苏皖地块之间的分界^[64,65]。古郧庐断裂带三叠纪之前可能是古特提斯洋域中连接秦岭—大别洋与苏鲁洋的转换断层,早白垩世亚洲大陆的雏形出现后才成为陆内的大型左行走滑断层,并进一步扩大其规模,如团风—麻城断裂与湘东北的长沙—平江断裂连成一体^[40,66~68]。

在神农架、巴东—秭归、五峰—松滋等地可见东西向的基底构造。结合神农架群的岩石组合和形成时代与川滇地区的会理群、昆阳群大体相同的事实,认为这些东西向构造与上扬子地区的東西向基底构造(褶皱)—岩浆岩带有相同的成因和形成时代。

3.2 古生代的新生构造

早古生代的构造线方向随地而异。鄂西南地区,如前所述,与上扬子地区一致,为北东向,即前述的湘鄂西坳陷(图2)。鄂北的广大地区,因其北的秦岭—大别洋的向北消减(以商县—丹凤缝合线为标志),构造线方向大致为北西西向。这2个盆山系统之间为黄陵地块(经元古宙的演化后黄陵古陆核已增生扩大)所隔。该地块(及其邻近周缘)早古生代可能继承元古宙的特征,发育东西向构造,对南北向的黄陵穹隆而言仍属新生构造。

川东地区对油气勘探有重大意义的晚二叠世—早三叠世飞仙关组沉积时期的北西向同生构造实际上在鄂西地区也有发育,即前述的城口—鄂西台盆(图1)。可能受制于黄陵地块的存在,该台盆偏转为近南北向,东延则未越过黄陵地块。

3.3 印支期构造

前述贵州及邻区(包括东邻的湘南地区)晚古生代—三叠纪的沉积演化与八布—Phu Ngu 洋盆的发育及其闭合耦合。由于湘中地区(冷水江—湘乡一线及以南)有古陆或水下古隆起发育,湘北地

区二叠系沉积与湘中—湘南地区有明显差异^[69],反映湘北地区该时期的演化已不受八布—Phu Ngu 洋盆闭合的制约。因而,湖北的印支期构造仅受秦岭—大别洋的向北消减及嗣后的(扬子—华北间的)陆—陆碰撞制约,主要特点可总结为以下 3 点:1) 由于秦岭—大别洋的闭合是东早西晚的“剪刀式”的迁移过程^[49,70],磨拉石盆地的发育也具有东早西晚的特征。磨拉石沉积曾称香溪煤系,命名于鄂西的秭归香溪,但那里的香溪煤系底部发育不全,与鄂中的南漳—京山地区相比缺九里岗组(原称香溪下煤组)。2) 前陆褶皱冲断带呈北西西走向,向南(偏西)扩展,故鄂东南地区也缺失九里岗组。磨拉石沉积呈北厚南薄的楔状,相应地,煤质北好南差。3) 早侏罗世桐竹园组(曾称香溪上煤组)显然仍属磨拉石建造。中侏罗世早—中期为红色沉积(分别称聂家山组和下沙溪庙组,或合称归州群),构造活动性已明显减弱,说明磨拉石盆地已被拗陷上叠。

3.4 燕山期构造

湖北境内发育 2 个燕山期的褶皱—冲断系(图 7,最东部的郟庐断裂带是燕山期的斜向汇聚—剪切造山带^[40,41],属板内造山带,本文不予讨论),分述如下。

北为中扬子褶皱—冲断带^[59],是一个因青峰—襄樊—广济和英店—青山口等古老断裂的活化而发育的陆内造山带,发育时间为中侏罗世晚期—晚侏罗世,使上述的香溪煤系和归州群卷入褶皱。构造线方向为北西向,向南西扩展时因受制于黄陵古陆核而偏转为北北西向。自东向西可分为桐柏变质杂岩带,随州箱状背斜褶皱—冲断带,京山梳状背斜褶皱—冲断带和当阳挠曲褶皱带。桐柏变质杂岩带可视为该褶皱—冲断带的根带,内有大量古老变质岩系(大别群等)出露则可能是叠加了大别造山带的晚侏罗世—早白垩世早期的大规模折返剥露作用^[71]。

南为前已提及的鄂南褶皱—冲断系,是川黔湘褶皱—冲断系的东延。后者是加里东期缝合线(城步—新化断裂)活化所致的燕山期陆内造山带。该缝合线在洞庭湖以南折向赣西武功山,然后近东西向横贯江西^[25],称萍乡—广丰断裂。受萍乡—广丰缝合线活化制约,鄂南褶皱—冲断带呈近东西向延伸,且其次级构造带可与川黔湘褶皱—冲断系很好对比。鄂赣交界的幕阜山区大面积出露变质岩系,属基底褶皱—冲断带。其北的鄂东南地区有 4 排线形背斜带,自南向北分别称蒲圻—阳新带、大

冶带、武昌—鄂城带和武汉带,后三者的背斜核部由志留系构成^[72]。蒲圻—阳新背斜带的中段(大幕山)仍见背斜核部为变质岩系,可与黔北箱状褶皱—冲断带的东亚带对比;大冶背斜带则是黔北箱状褶皱—冲断带的西亚带的东延,这 2 个亚带间以咸宁—灵乡断裂为界,可与黔北的梵净山断裂带对应。武昌—鄂城背斜带和武汉背斜带属梳状背斜褶皱—冲断带,前锋冲断层位于武汉以北,被掩覆。鄂南褶皱—冲断带东延受阻于桐柏变质杂岩带和北东向断裂带,因而湖北境内的燕山期挤压应力场东强西弱,有向西逸脱之势^[73]。

尚需指出的是,与黔东北相比,鄂东南的一个明显特征是燕山期花岗岩特别发育,尤其是在变形程度相对较低的箱状背斜带北亚带和梳状背斜带。这反映该区燕山期的陆内造山运动除了受控于东西向的古缝合线活化外,还受到苏皖地块与扬子克拉通拼合的造山事件^[68]的影响。

3.5 与川东地区的对比

3.5.1 基底构造

中扬子地区的独特之处首先反映在它的基底

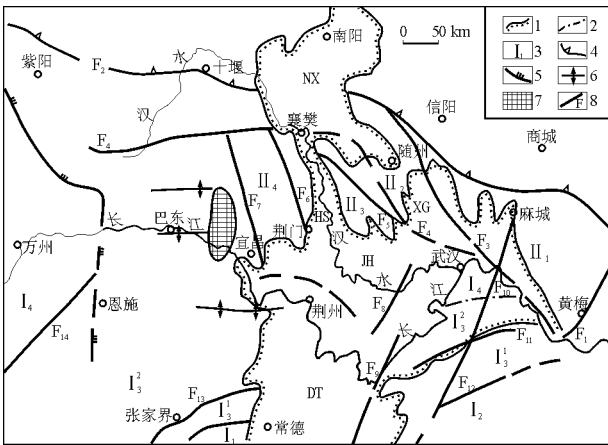


图 7 湖北及邻区构造框架,示不同时代的构造线方向

- 1. 新生代盆地边界; 2. 燕山期褶皱—冲断系次级构造带边界;
 - 3. 燕山期构造带编号; 4. 印支期缝合线; 5. 晚二叠世—早三叠世早期的台盆边界; 6. 元古宙构造(说明见正文);
 - 7. 太古宙黄陵古南核; 8. 断裂及编号(虚线示推测)
- 断裂名称: F₁. 郟庐; F₂. 勉略; F₃. 英店—青山口; F₄. 青峰—襄樊—广济; F₅. 青寨子; F₆. 南漳—荆门; F₇. 通城河; F₈. 沔阳; F₉. 洪湖—岳阳; F₁₀. 麻城—团风; F₁₁. 咸宁—灵乡; F₁₂. 幕阜山; F₁₃. 大庸—慈利—保靖; F₁₄. 七跃山—金佛山
- 燕山期陆内造山带名称: I. 川黔湘—鄂南褶皱—冲断系; I₂. 基底褶皱—冲断带; I₃¹. 箱状背斜褶皱—冲断带的东(南)亚带; I₃². 箱状背斜褶皱—冲断带的西(北)亚带; I₄. 梳状背斜褶皱—冲断带; II. 中扬子褶皱—冲断系; II₁. 桐柏变质杂岩带; II₂. 随州箱状背斜褶皱—冲断带; II₃. 京山梳状背斜褶皱—冲断带; II₄. 当阳挠曲褶皱带
- 新生代盆地名称: NX. 南(阳)—襄(樊); HS. 汉水; JH. 江汉; DT. 洞庭; XG. 孝感

Fig. 7 Tectonic framework of Hubei and its environs, showing orientations of structural lines with varied ages

构造。鄂西的黄陵古陆核刚性程度高,地史期间长期作为一个正向构造单元而成为形变的边界条件。它使晚二叠世—早三叠世初的北西向台盆偏转为近南北向并阻止了它进一步向东发育;同样,它使中扬子褶皱—冲断带向西扩展时偏转为近南北向并成为它的西界。因而,该区缺失燕山期构造高角度横跨在同海相沉积期构造上的先天条件。鄂东的郟庐断裂带曾是一条古老的边界断裂,早白垩世亚洲大陆的雏形出现后成为陆内的大型走滑断裂,新生代内仍有较强烈的活动。因而,这两种不同方向的基底构造对油气成藏的总体作用是弊大于利。

3.5.2 构造线方向

与贵州相似的是中扬子地区古生代同海相沉积期的构造线方向较为多样,甚至在晚白垩世开始的断陷盆地发育中也可发现张裂沿多种方向的断裂发生^[73],反映了这些断裂在晚白垩世的活动性。燕山期变形东强西弱的总趋势决定了海相油气勘探的总背景是鄂西相对优于鄂东,尤以鄂西南地区因毗邻川东而可借鉴后者成功的经验。应注意的,一是城口—鄂西台盆呈近南北向,二是位于燕山期褶皱—冲断系由北东向转折为东西向的弧形构造部位。

3.5.3 构造样式

需要提出的是,北部的中扬子褶皱—冲断带和南部的鄂南褶皱—冲断系在中扬子的中部江汉平原腹地呈现出类似“南北对冲”的构造样式。在潜江北—天门河、纪山寺断层以南和周老嘴、洪湖—岳阳断层以北的荆州—沔阳带即为构造形变最弱的对冲前缘干涉带,以梳状褶皱为主,上古生界—中侏罗统保存较好,是香溪煤系保存最好、分布面积最大的地区。伴随双向逆冲,南北两侧遭受明显的剥蚀,剥蚀强度自对冲前缘干涉带向南、北两侧的造山带逐渐加大,暴露的地层也明显变老。研究表明:江汉平原海相油气勘探勘探前景最有利的即是构造形变最弱、海相层系保护最全的荆州—沔阳带。

4 结束语

扬子克拉通尽管在三叠纪结束海相沉积,且其两侧地区都被卷入了印支造山运动,但印支运动自身并不形成新生构造,只是海西期构造由剪切拉张反转为剪切挤压。对油气勘探最有意义的(在排除了喜马拉雅运动影响的情况下),是同海相沉积期的新生构造(尤其是海西期的同海相沉积期新生构造)被燕山期的新生构造高角度横跨(或上叠)形成的岩性—构造复合油气藏。

古生代海相油气勘探的前景黔西优于黔东。黔西贵阳—安顺一线以北的地区,早古生代时与四川盆地有相同的区域演化(黔中古隆起);印支运动的前陆褶皱—冲断带向北扩展也止于贵阳—安顺一线,因而其北的上古生界和三叠系变形都十分微弱。该区侏罗—白垩纪时是川滇黔超大型盆地的一部分^[27,74],燕山运动时尽管有盘江逆冲—推覆构造带发育,但卷入的地层相对层位较高,且不伴随有岩浆活动,与四川盆地有一定的相似性(曾称为黔北盆地^[27])。该区晚古生代及之后的各期新生构造与四川盆地东部有明显不同的走向,但可以相同的思路,认真分析继承性构造与新生构造并存的时空发育特征,有望获得海相油气勘探的突破。

参考文献:

- 1 张 抗. 从已发现的油气田看中国海相油气勘探[J]. 海相油气地质, 2002, 7(2): 1~14
- 2 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 1~3
- 3 刘光鼎. 雄关漫道真如铁——论中国油气二次创业[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 185~190
- 4 朱德丰, 任延广, 吴河勇等. 松辽盆地北部隐伏二叠系和侏罗系的初步研究[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 690~708
- 5 吴根耀. 华南的格林威尔造山带及其坍塌: 在罗迪尼亚超大陆演化中的意义[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 112~123
- 6 吴根耀. 从关键地质事件看华南的前寒武系划分[J]. 地层学杂志, 2006, 30(3): 271~286
- 7 Wu G Y. Main tectonic units and geological evolution in South China and its environs: in the light of Gondwana dispersion and Asian accretion[A]. In: Metcalfe I. Ed In Chief. Gondwana Dispersion and Asian Accretion[C]. Rotterdam: A Balkema, 1999. 315~340
- 8 吴根耀, 马 力. “盆”“山”耦合和脱耦: 含油气盆地研究的新思路[A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会编. 油气盆地研究新进展第一辑[C]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 20~36
- 9 沈传波, 梅廉夫. 盆山体系与油气成藏作用[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 535~540
- 10 吴根耀, 马 力. 试论“盆”“山”耦合和脱耦研究的方法学[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 239~246
- 11 吴根耀. 造山带古地理学——重建区域构造古地理的若干思考[J]. 古地理学报, 2007, 9(6): 635~650
- 12 吴根耀, 梁 兴, 叶 舟. 继承性构造与新生构造并存的时空发育特征及其油气勘探意义[J]. 现代地质, 2008, 22(5): 766~778
- 13 陈洪德, 庞 林, 倪新锋等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 13~18
- 14 丁道桂, 刘光祥. 扬子板内递进变形——南方构造问题之二[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 238~246
- 15 张士万, 杨振武, 梁西文等. 中扬子海相天然气勘探层系及突破方向[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 361~366
- 16 周小进, 杨 帆. 中国南方新元古代—早古生代构造演化与盆地原型分析[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 446~451

17 王津义,付孝悦,潘文蕾等. 黔西北地区下古生界盖层条件研究[J]. 石油实验地质,2007,29(5):477~481

18 唐大卿,陈新军. 川东北宣汉—达县地区断裂系统及构造演化[J]. 石油实验地质,2008,30(1):58~63

19 叶 军. 再议四川盆地西部坳陷深盆气[J]. 石油实验地质,2008,30(2):109~114

20 吴根耀. 会理—东川裂堑的发育及形成机制[A]. 见:中国科学院地质研究所编著. 1981 届硕士学位论文论文集[C]. 北京:北京科学技术出版社,1983. 80~90

21 罗志立,刘树根. 中国塔里木、鄂尔多斯、四川克拉通盆地地下古生界成藏条件对比分析[A]. 见:罗志立,李景明,刘树根等编. 中国板块构造和含油气盆地分析[C]. 北京:石油工业出版社,2005. 454~546

22 马永生,牟传龙,谭钦根等. 关于开江—梁平海槽的认识[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):326~331

23 魏国齐,陈更生,杨 威等. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探[J]. 石油与天然气地质,2006,27(1):99~105

24 Wu G Y. Early Paleozoic accretion and amalgamation in a Gondwana—originated China[J]. Acta Universitatis Carolinae—Geologica, 1998,42(3~4): 501~507

25 吴根耀. 造山带地层学[M]. 成都:乌鲁木齐:四川科学技术出版社;新疆科学技术出版社,2000. 218

26 Wu Genyao. Rejuvenation of fossil sutures and related Mesozoic intracontinental orogens in South China[J]. Acta Geologica Sinica, 2000,74(2):194~200 (中文稿“古缝合线活化和华南中生代陆内造山运动”见:中国地质学会编. 第 31 届国际地质大会中国代表团学术论文文集[C]. 北京:地质出版社,2001. 32~39)

27 吴根耀. 燕山运动和中国大陆晚中生代的活化[J]. 地质科学,2002,37(4):453~461

28 梁新权,郭定良. 湖南深部构造活化及其浅部响应[J]. 地质科学,2002,37(3):332~342

29 吴根耀,马 力. 中国南方“盆”“山”耦合和脱耦关系[A]. 见:马 力,陈焕疆,甘克文等著. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004. 180~255

30 罗志立. 试从板块构造探讨四川盆地新的油气资源[J]. 石油勘探与开发,1975,(6):5~27

31 安作相. 塔里木—华南地块裂解与四川下古生界油气[J]. 石油学报,1997,18(1):18~22

32 王金琪. 四川盆地油气地质特征——纪念黄汲清先生百岁生日[J]. 石油实验地质,2004,26(2):115~120

33 王一刚,陈盛吉,徐世琦. 四川盆地古生界—上元古界天然气成藏条件及勘探技术[M]. 北京:石油工业出版社,2001. 67~78

34 魏国齐,杨 威,吴世祥等. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界厘定及其油气勘探意义[A]. 见:中国石油地质年会学术委员会编. 中国石油地质年会论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2005. 319~325

35 李三忠,赖绍聪,张国伟等. 秦岭勉(县—)略(阳)缝合带及南秦岭地块的变质动力学研究[J]. 地质科学,2003,38(2):137~154

36 胡健民,赵国春,马国良等. 秦岭造山带武当地区古生代伸展构造[J]. 地质科学,2004,39(3):305~319

37 马永生,蔡勋育,李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报,2005,79(6):858~865

38 马永生,蔡勋育. 四川盆地川东北区二叠系—三叠系天然气勘探成果与前景展望[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):741~750

39 Wu Genyao, Yano T, Inomata M. Yanshanian orogenics in South China: a relation to Neotethyan evolution[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998,7(1):1~10

40 吴根耀,梁 兴,陈焕疆. 试论郯城—庐江断裂带的形成、演化及其性质[J]. 地质科学,2007,42(1):160~175

41 吴根耀,矢野孝雄. 东亚大陆边缘的构造格架及其中一新生代演化[J]. 地质通报,2007,26(7):787~800

42 王金琪. 小陆拼接、多旋回、陆内构造——中国大陆石油地质三根基柱[J]. 成都理工学院学报,1998,25(2):182~190

43 黄泽光,刘光祥,潘文蕾等. 川西坳陷压扭应力场的形变特征及油气地质意义[J]. 石油实验地质,2003,25(6):701~707

44 曹 伟. 龙门山推覆构造带中段前缘构造浅析[J]. 石油实验地质,1994,16(1):35~40

45 蔡立国. 四川前陆褶皱—冲断带构造样式与特征[J]. 石油实验地质,1997,19(2):115~120

46 李亚林,张国伟,李三忠等. 秦岭略阳—白水江地区双向推覆构造及形成机制[J]. 地质科学,2001,36(4):465~473

47 何建坤,卢华复,张庆龙等. 南大巴山冲断构造及其剪切挤压动力学机制[J]. 高校地质学报,1997,3(4):419~428

48 张进江,郑亚东,刘树文. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成[J]. 地质科学,2003,38(1):74~84

49 孙晓猛,吴根耀,郝福江等. 秦岭一大别造山带北部中一新生代逆冲推覆构造期次及时空迁移规律[J]. 地质科学,2004,39(1):63~76

50 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,1999,21(4):336~340

51 吴根耀,马 力. “盆”“山”耦合和脱耦在含油气盆地分析中的应用[J]. 石油实验地质,2003,25(6):648~660

52 钟大赉,吴根耀,李建清等. 滇东南发现蛇绿岩[J]. 科学通报,1998,43(13):1365~1370

53 Tran Q H, Poliakov G V, Balykin P A, et al. Ultramafic—mafic associations and related mineralization in northern Vietnam[J]. Journal of Geology, series B,1995, (5—6):434~435

54 Wu Genyao, Zhong Dalai, Zhang Qi, et al. Babu—Phu Ngu ophiolite: A geological record of Paleotethyan ocean bordering China and Vietnam[J]. Gondwana Research, 1999, 2(4): 554~557

55 吴根耀,马 力,钟大赉等. 滇桂交界区印支期增生弧型造山带:兼论与造山作用耦合的盆地演化[J]. 石油实验地质,2001,23(1):8~18

56 吴根耀. 滇桂交界区印支期前陆褶皱冲断带[J]. 地质科学,2001,36(1):64~71

57 Wu Genyao. Indosinian foreland fold— and— thrust belt bordering Yunnan and Guangxi, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2001,75(4):391~397

58 索书田,侯光久,张明发等. 黔西南盘江大型多层次席状逆冲—推覆构造[J]. 中国区域地质,1993,(3):239~247

59 吴根耀. 古深断裂活化与燕山期陆内造山运动——以川南—滇东和中扬子褶皱—冲断系为例[J]. 大地构造与成矿学,2001,25(3):246~253

为低频强振幅,厚层块状火山岩气藏还表现出明显的“眼球”效应。在无机火山岩的上方,在控气断裂上方的花状断裂系周缘,也会出现一系列低频强振幅、“眼球”效应的次生气藏显示,这也是深部发育无机气藏的重要判断依据。

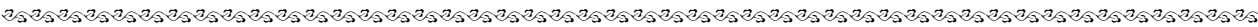
应用二维、三维地震资料,当在同一圈闭上,识别出深大断裂、洼陷间隆起带或北东东—近东西向鼻状隆起带、发育巨厚的营城组流纹岩—流纹质凝灰岩、具有一系列地震含气异常信息时,也就评价出了有利的无机成因勘探目标。

参考文献:

1 戴金星,傅诚德,关德范. 天然气地质研究新进展[M]. 北京:石油工业出版社,1997
2 谈 迎,刘德良,李振生. 松辽盆地北部二氧化碳气藏成因地球化学研究[J]. 石油实验地质,2006,28(5):480~483

3 杨玉峰,张 秋,黄海平等. 松辽盆地徐家围子断陷无机成因天然气及其成藏模式[J]. 地学前缘,2000,7(4):523~533
4 陶士振,刘德良,杨晓勇等. 无机成因天然气藏形成条件分析[J]. 天然气地球科学,2000,11(1):10~18
5 付晓飞,宋 岩. 松辽盆地无机成因气及气源模式[J]. 石油学报,2005,26(4):23~28
6 付晓飞,云金表,卢双舫等. 松辽盆地无机成因气富集规律研究[J]. 天然气工业,2005,25(10):14~17
7 杨晓勇,刘德良,王佰长等. 无机成因二氧化碳气成藏研究[J]. 石油实验地质,2007,29(2):154~161
8 张景廉,曹正林,张 宁等. 无机生油理论的思考[J]. 石油实验地质,1999,21(1):8~11
9 周荔青,吴聿元,张 淮. 松辽盆地断陷层系油气成藏的分区特征[J]. 石油实验地质,2007,29(1):7~12
10 刘为付,朱筱敏. 松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩储集空间演化[J]. 石油实验地质,2005,27(1):44~50
11 侯启军,杨玉峰. 松辽盆地无机成因天然气及勘探方向探讨[J]. 天然气工业,2002,22(3):5~10

(编辑 叶德燎)



(上接第 11 页)

60 丘元禧,陈焕疆主编. 云开大山及其邻区地质构造论文集[M]. 北京:地质出版社,1993.1~11,44~52
61 吴根耀,马 力,许效松等. 喜马拉雅运动;对川滇交界区古地理重建的制约和楚雄盆地的改造[J]. 古地理学报,2001,3(2):3~10
62 张进江,钟大赉,桑海清等. 哀牢山—红河构造带古新世以来多期活动的构造和年代学证据[J]. 地质科学,2006,41(2):291~310
63 王晓鹏,吴根耀,钟大赉. 受红河断裂控制的晚第三纪走滑松弛盆地——以漠沙盆地为例[J]. 地质科学,2001,36(3):370~379
64 吴根耀,陈焕疆,马 力等. 中国东部燕山期高原的发育及对矿产和油气资源评价的启示[J]. 石油实验地质,2002,24(1):3~12
65 吴根耀,陈焕疆,马 力等. 苏皖地块——特提斯演化阶段独立的构造单元[J]. 古地理学报,2002,4(2):77~86
66 吴根耀. 白垩纪:中国及邻区板块构造演化的一个重要变换期[J]. 中国地质,2006,33(1):64~77
67 许德如,贺转利,李鹏春等. 湘东北地区晚燕山期细碧质玄武

岩的发现及地质意义[J]. 地质科学,2006,41(2):311~332
68 吴根耀,马 力,陈焕疆等. 苏皖地块构造演化、苏鲁造山带形成及其耦合的盆地发育[J]. 大地构造与成矿学,2003,27(4):337~353
69 柳祖汉. 湘中—南地区二叠系沉积相的分异及成因[J]. 地质科学,2005,40(4):510~517
70 吴根耀,马 力. 试论“盆”“山”耦合和脱耦及其运动学[J]. 石油实验地质,2003,25(2):99~109,115
71 李双应,王道轩,刘 因等. 大别造山带折返剥露历史:来自合肥盆地南缘中生界变质岩碎屑的证据[J]. 地质科学,2005,40(4):518~531
72 吴根耀. 湘鄂赣皖交界区的湖盆演化及其控制因素[J]. 大地构造与成矿学,1997,21(3):251~261
73 徐政语,林 舸,刘池阳等. 从江汉叠合盆地构造形变特征看华南与华北陆块的拼贴过程[J]. 地质科学,2004,39(2):284~295
74 吴根耀. 中国滇西—泰国地区侏罗纪—第四纪盆地发育及其对比研究[J]. 地质科学,1991,26(4):359~368

(编辑 叶德燎)