

文章编号:0253-9985(2008)05-0582-07

中国南方古生界海相烃源岩的主变形期

王清晨,林伟

(中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈演化国家重点实验室,北京 100029)

摘要:中国南方海相碳酸盐岩层系中发育了多套烃源岩,它们在沉积之后经历了多期构造事件。在野外观测和地震剖面解释的基础上,对中国南方海相烃源岩的变形序列进行了剖析,甄别出4个变形期,分别为早古生代晚期(421~441 Ma)、晚三叠世(215~230 Ma)、晚侏罗世—早白垩世和早白垩世—第三纪,并指出中生代中晚期为主变形期,形成了不同尺度的叠加构造。

关键词:叠加构造;主变形期;海相烃源岩;中生代;中国南方

中图分类号:TE121.1 **文献标识码:**A

Main deformation phases of the Paleozoic marine hydrocarbon source rocks in South China

Wang Qingchen, Lin Wei

(State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: There are multiple sets of hydrocarbon source rocks developed in South China, which experienced several tectonic events. By analyzing deformation succession, four deformation phases are recognized for Paleozoic marine hydrocarbon source rocks in South China, on a basis of field observation and seismic section interpretation, i. e., late Early Paleozoic (421 – 441 Ma), Late Triassic (215 – 230 Ma), Late Jurassic-Early Cretaceous and Early Cretaceous-Tertiary. It is suggested that the main deformation phases occur in the Middle-Late Mesozoic, forming superimposed structures with different sizes.

Key words: superposed structure; main deformation phase; marine hydrocarbon source rock; Mesozoic; South China

刘光鼎先生于10年前提出“残留盆地”的概念,认为在这类受到后期构造运动改造的盆地中,油气资源主要成藏于早古生代被动大陆边缘,其生油层系和生油环境均极优越,易于形成大油气藏,并强调指出,寻找中生代—古生代海相碳酸盐岩残留盆地是一个新的油气勘探领域,是中国油气勘探的重要出路之一^[1]。刘先生的这一预见性论证为我国海相碳酸盐岩油气勘探新高潮的到来吹响了号角。

我国的海相碳酸盐岩多发育在叠合盆地的深层,而叠合盆地独特的地质条件造成了其“多套烃

源岩、多次生排烃、多期运聚散”的油气地质特色。以我国南方海相碳酸盐岩层系为例,其中发育了寒武系、志留系、二叠系等多套海相烃源岩,其中并不乏优质烃源岩,但盆地中油气富集机理与分布规律却极为复杂。其主要原因为,这些烃源岩在沉积之后经历了多期构造事件,为促进对油气分布规律的研究,我们在执行国家重点基础研究发展规划(973)项目“中国海相碳酸盐岩层系油气富集机理与分布预测”过程中,把“多期构造活动背景下海相碳酸盐岩层系油气聚散机理与富集规律”作为我国南方油气远景分析中的核心科学问

收稿日期:2008-08-18。

第一作者简介:王清晨(1950—),男,教授、博士生导师,岩石与构造地质学。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422101)。

题,对我国南方显生宙构造古地理演化的主体面貌进行了论述^[2]。本文将依据对野外露头的观测,并辅以盆地区的地震解释剖面,对我国南方海相烃源岩的变形序列和叠加构造进行剖析,揭示其变形式样,并厘定其主变形期,以期为揭示关键构造运动事件对油气藏形成与调整的控制作用提供构造地质学依据。

1 中国南方经历的主要构造事件

制约和影响中国南方古地理演化的几个主要构造事件计有新元古代晚期至古生代早期的大陆裂谷和被动大陆边缘形成事件、古生代中期华南造山带形成演化事件、古生代晚期张裂事件、中生代古特提斯洋闭合造山事件、侏罗纪以来的太平洋板块俯冲事件、新生代印度板块与欧亚大陆的碰撞事件等。

新元古代南华裂谷盆地与早古生代扬子被动大陆边缘的形成与罗迪尼亚大陆的裂解有关,为超级地幔柱活动的产物,对此近年来已有共识^[3-7]。

关于华南造山带的形成演化,国际上一直存在争论,大家见仁见智,至今无统一认识。Hsu 等提出,华南并不是“地台”,而是中生代造山带^[8]。其他研究者在“板溪群”中发现了年龄为 1.0 Ga 的蛇绿岩,认为其代表了古大洋闭合时间,从而提出华夏陆块与扬子克拉通碰撞的时间为新元古代^[9-11],并进而认为属于格林威尔造山带的一部分,是罗迪尼亚(Rodinia)超大陆聚合过程在中国的表现^[12,13]。实际上,Huang 早就把江南古陆及华南称为“加里东褶皱带(Caledonian fold belt)”^[14]。Ren 提出,华南造山带形成于加里东运动,此后,扬子克拉通和华夏陆块上的沉积盖层自泥盆系向上趋于相近^[15]。这一认识同样得到国内一些学者的赞同,如刘宝珺,马力等^[16,17]。

华南大陆从泥盆纪开始逐渐向北漂移,远离了冈瓦纳大陆^[18],这一时期实际是以张裂为主的构造活动期。伴随着张裂活动,形成了诸多岩浆岩。例如,在南方一些地区上泥盆统至石炭系中发育有枕状玄武岩,在二叠系中更是发现了一系列表征张裂活动岩浆岩。二叠纪中期(259 ~ 262 Ma),在西南地区广泛发育了峨眉山玄武岩,出露范围达 500 km × 500 km。Chung 和 Jahn 1995

年提出峨眉山玄武岩是地幔柱活动的产物^[19]。在峨眉山玄武岩喷发之前,西南的地壳大范围隆起,使茅口组灰岩遭受剥蚀,形成了峨眉山玄武岩与茅口组之间的不整合面。隆起中心在川滇交界处的盐边一米易一带,那里的地壳隆起幅度可达 1 000 m,而茅口组也至少被剥蚀掉 500 m^[20]。国内一些学者早就注意到这一大规模的张裂活动,并称其为“地裂运动”^[21-23]。

与此同时,在福建西北发育了年龄为 242 ~ 252 Ma 的正长岩^[24],在海南岛则有年龄为 262 ~ 267 Ma 的五指山 I 型花岗岩侵入^[25]。一些研究者提出,这表明东南沿海已进入大陆岩浆弧发育时期,是太平洋板块的斜向俯冲的结果^[25],与此同时,还发育了一系列走滑断裂^[26]。但太平洋板块的俯冲始于侏罗纪^[27],因此,我们推测晚二叠世时俯冲下去的洋壳极可能是古特提斯洋东段的一部分^[2]。这一俯冲使钦防海槽隆起,并在隆起的北西侧堆积了大量粗碎屑岩,但在右江盆地仍为深水环境。

中生代是中国乃至亚洲的重大构造变革时期,华南大陆周围相继形成了一系列造山带,华北大陆与华南大陆于二叠纪末的碰撞形成了秦岭—大别山造山带^[28-31],古、新特提斯洋在三叠纪至白垩纪的相继闭合形成了三江造山带^[32-35],太平洋板块自侏罗纪开始的向西俯冲形成了沿海造山带,在侏罗纪至白垩纪期间,太平洋板块俯冲角度的逐渐增大,在东南地区形成了宽逾 800 km 的火山岩带^[36]。在上述研究中,对华南大陆周围造山带的研究程度深浅不一,尤其对于它们的时间看法尚有分歧。例如,Yan 等提出,雪峰山至武陵山的冲断系属陆内变形,形成于晚侏罗世至白垩纪^[26],而 Wang 等认为其形成于印支运动(244 ~ 195 Ma)^[37]。

古近纪印度板块与欧亚板块的碰撞使印支地块向东南方向挤出,在我国三江地区形成了一系列走滑构造^[38]。同时,在我国东南沿海发生一系列弧陆碰撞事件,形成了台湾中央山脉造山带和其西部的前陆盆地,其中的台湾海岸山脉造山带是为菲律宾板块与亚洲板块的结合带^[39]。

2 广西运动与华南造山带

广西运动是丁文江于 1928 年据广西“莲花山

组”与下伏“龙山系”的角度不整合而提出的。“龙山系”后被划分为寒武系、奥陶系和志留系,而“莲花山组”则被确定为早泥盆世早期的沉积^[40],这样,上述二者间的角度不整合被确认为志留纪与泥盆纪间的地壳变动。然而,正如尹赞勋等指出的,应在尽量广大的地区内追索一个角度不整合(截合)的分布范围^[41],只看一两个地方就下结论,难免得出荒谬的推论。我们遵循尹赞勋等人^[41]的做法,绘制了中国南方广西运动界面的古地质图(图1)和虫眼图(图2)。

由古地质图可以看出,揭去泥盆系及其以上地层,扬子克拉通(图1中的I)的前泥盆系与上古生界为平行不整合接触,但在成都、贵阳和昆明周围有3个古隆起带,下古生界有不同程度的剥蚀。华南造山带分为3个分区,其中湘桂褶皱带(图1中的II)的前泥盆系与上古生界为角度不整合接触,表现出江南-雪峰古隆起的形态;粤赣花岗岩带(图1中的III)的前泥盆系与上古生界亦为角度不整合接触,同时还广泛发育了古生代花岗

岩;而武夷地块(图1中的IV)无下古生界出露,仅见上古生界不整合盖在前泥盆系变质岩上。对照现代典型造山带可知,华南造山带的这一结构是碰撞型造山带的产物,湘桂褶皱带代表了扬子克拉通沉积盖层的薄皮构造,粤赣花岗岩带代表了造山带的根部,二者均位于俯冲盘,且表明俯冲深度向东南方向加深,而武夷地块则代表了上冲盘。这一推测得到了野外观测资料的验证。我们对粤赣花岗岩带和武夷地块构造形迹的运动学观测表明,它们都记录了向北和北西方向的逆冲推覆活动。

这一推论还得到了地球化学资料的支持。已有的地球化学资料^[42,43]表明,华南造山带花岗岩的年龄介于460~370 Ma间,即,岩浆活动最早发生在晚奥陶世,主要集中在志留纪和早泥盆世,一直延续到早石炭世。这些岩浆岩以形成S型花岗岩为特征,它们的 I_{Sr} 为0.711~0.720,其 $\varepsilon_{\text{Nd}(t)}$ 大部分介于-8~-4,只有少部分为-12~-9,表明其岩浆为陆源碎屑物部分熔融的结果,但有部分

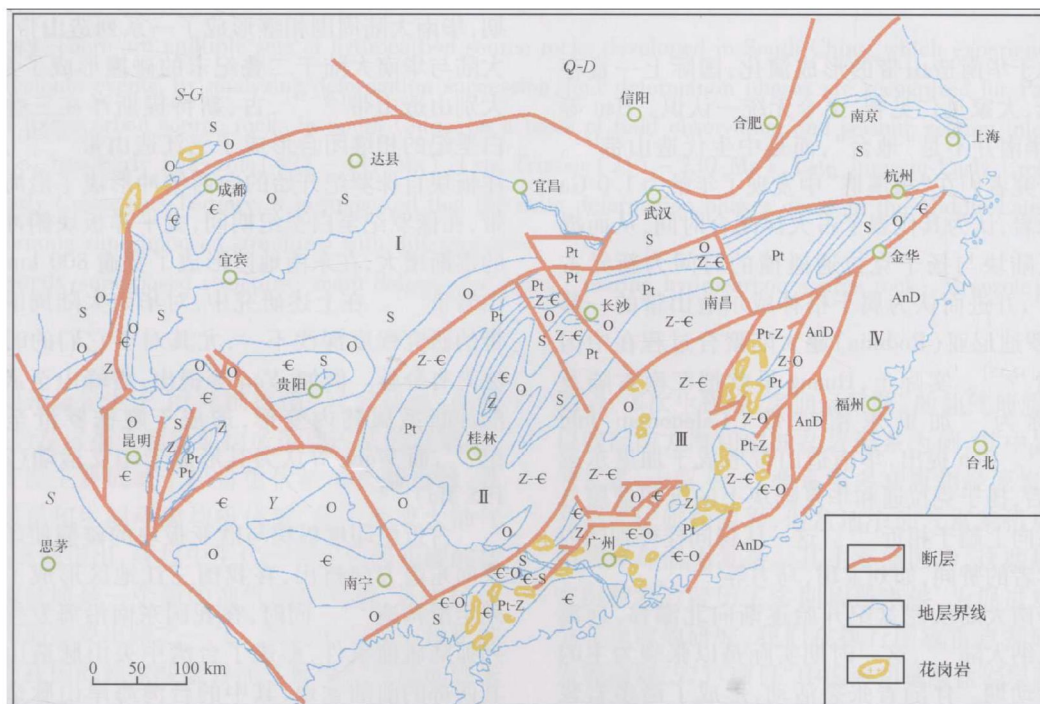


图1 中国南方广西运动界面古地质图

Fig. 1 Palaeogeologic map on Guangxi movement interface in South China

I. 扬子克拉通; II. 湘桂褶皱带; III. 粤赣花岗岩带; IV. 武夷地块

Q-D. 秦岭-大别山造山带; S. 三江造山带; S-G. 松潘-甘孜造山带; Y. 右江造山带

S. 志留系; O. 奥陶系; ϵ . 寒武系; Z. 震旦系; Pt. 元古界; AnD. 前泥盆纪变质岩

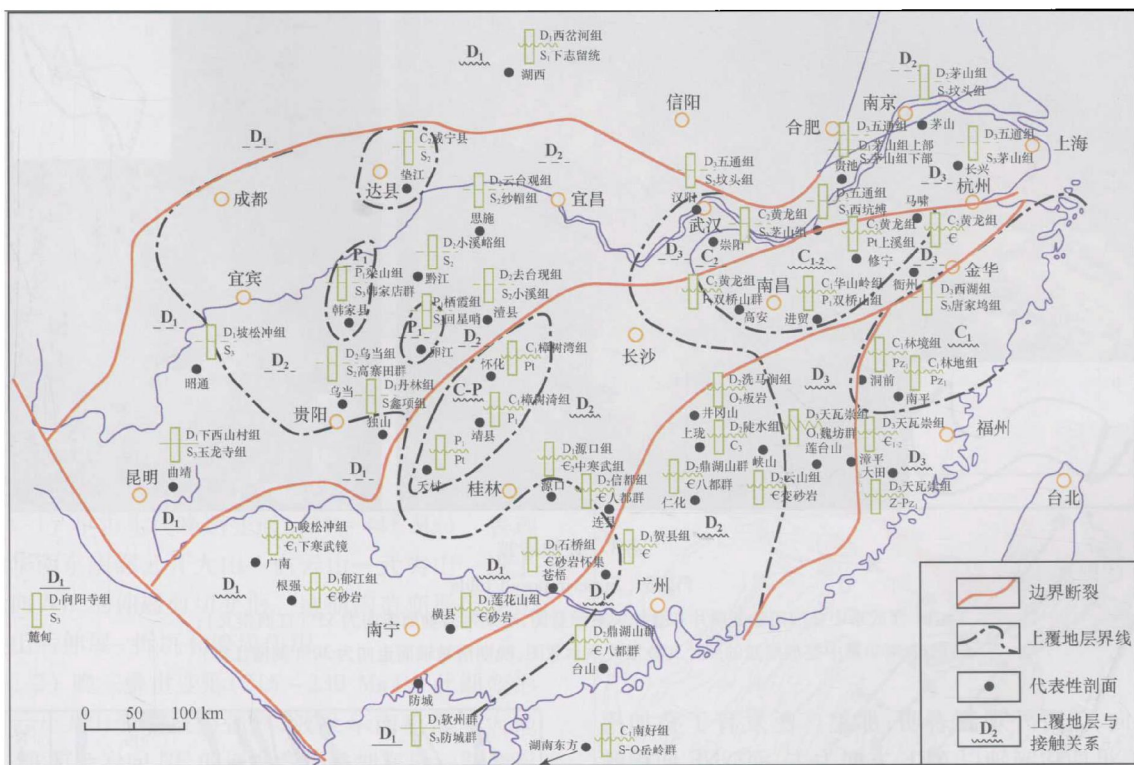


图2 中国南方广西运动界面虫眼图

Fig. 2 A worm's eye map on Guangxi movement interface in South China

地幔物质的加入。另外,早古生代花岗岩中也的确发现了I型花岗岩,如广东东部的龙塘岩体^[44],它们和粤中、粤北及闽北发育的早古生代岛弧火山岩共同构成了扬子活动大陆边缘,在其西侧还发育了同期的混合岩,暗示了洋壳向西北的俯冲带和碰撞造山带的根部所在。

为了进一步分析广西运动之后的构造古地理,我们还编绘了广西运动界面的虫眼图(图2)。此图反映出,发生在志留纪末的广西运动并未使华南洋完全闭合,除在“钦防海槽”中可见下泥盆统与上志留统为连续沉积(均含笔石化石)外,在昆明周围二者也呈整合接触,表明那里的海域同样没有因广西运动而闭合,暗示了造山运动的地理局限性。晚古生代发生的海侵使上古生界向北东超覆在上元古界至下古生界以及中生代花岗岩上。超覆地层底部的砂岩和砾岩具有明显的穿时性,在广西和湖南内部属下泥盆统,向北东方向层位逐渐升高,在湖南中北部和江西、福建等地变为中泥盆统或上泥盆统。这一海侵的方向或地层超覆方向无疑反映了古地势的高低,这样,就不难

理解为何在一些地方(如雪峰山的天柱,江西的进贤,黔北的印江,海南岛中部等)会有石炭系或二叠系不整合在前泥盆纪地层上。这些现象表明,江南-雪峰古陆是经广西运动才形成的,而扬子克拉通的一些地区(如川东、重庆等地)在广西运动之后相当长的一个时期内都位于海平面之上。另一方面,这些超覆地层底部的砂岩和砾岩成分成熟度极高,不少地方在不整合面上还发育了石炭系或二叠系铝土矿,这些现象进一步指示了华南造山带的逐渐夷平过程。

需要指出的是,如同其他运动界面一样,广西运动界面是一个沉积地层剥蚀和/或缺失的复合界面,而不是一个等时面,其代表的时间在各地甚至可有较大差别,而这些变形也可能不是一次构造活动的产物,甚至有些后期构造也无法剔除。例如,我们在武夷地块北部和江南古隆起的南部观测到向NW逆冲的早古生代运动学方向,但覆盖在江南古隆起上的石炭系也发育了向NW逆冲的构造,表明那里的中生代构造也具有相似的构造倒向。再如,湘桂褶皱带的褶皱轴表现为NNE



图3 叠加褶皱

Fig. 3 Superimposed folds

a, b. 寒武系中叠加褶皱的照片和叠加关系示意图, 晚期褶皱轴面走向为 55° (江西崇义);
c, d. 南华系中叠加褶皱的照片和叠加关系示意图, 晚期褶皱轴面走向为 30° (湖南江华)

方向, 但野外观测表明, 那里广泛发育了叠加褶皱, 早期褶皱轴以 NEE 方向为主, 而 NNE 向褶皱轴是晚期构造叠加形成的。因此, 古地质图中揭示出的湘桂褶皱带 (图 1 中的 II) 构造线方向含有后期构造叠加的影响, 不能代表早古生代的构造线方位, 也不能代表早古生代时褶皱的紧闭程度。

3 叠加褶皱与多期变形

在湘桂褶皱带, 可在野外露头上见到叠加褶皱。这些褶皱往往是在早期的紧闭褶皱上叠加了晚期的较宽缓褶皱, 使早期的褶皱轴面扭曲变形 (图 3)。在湖南江华等地, 还可看到规模更大的叠加构造 (图 4)。对沉积岩层中发育的叠加褶皱本身而言, 仅依据对少量露头的观察尚难去精确确定其形成年代。

在雪峰山以西的地区, 上、下古生界之间为平行不整合, 二者共同褶皱变形 (图 5)。依据地层被褶皱卷入的程度可以大致判断出, 这些褶皱发生在侏罗纪晚期。

我们认为, 任一构造运动都有其发生的发源地, 并且持续时间和影响范围都有其限度。例如, 我国南方经历的所谓印支运动实际来自两个发源地, 一个在北面, 为扬子克拉通和华北克拉通的碰

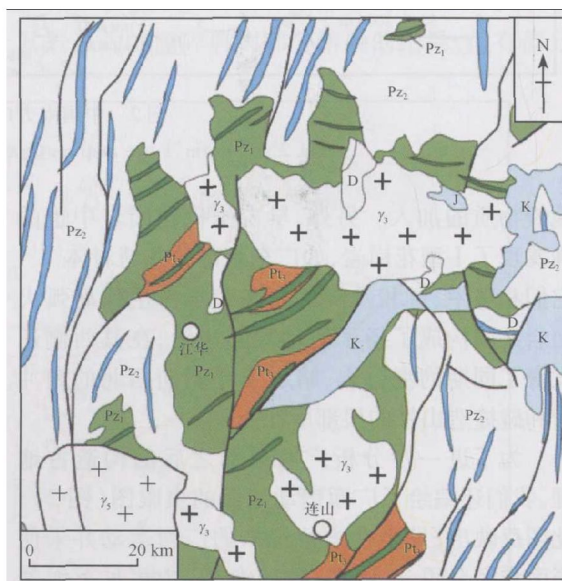


图4 江华地区的早期褶皱 (轴向 NE 转向 E-W)
被晚期褶皱 (轴向 NNE) 叠加

Fig. 4 Early folds (with axes trending NE to E-W) were superimposed by late folds (with axes trending NNE) in Jianghua area

撞带, 一个在南面, 为印支半岛碰撞带; 它们对扬子克拉通内部的影响都不大。东南沿海地区经历了多期构造叠加活动, 中国南方的印支运动和燕山运动均影响到那里, 是一个研究叠加构造的典型地区。我们在执行“973”项目中, 对那里进行了

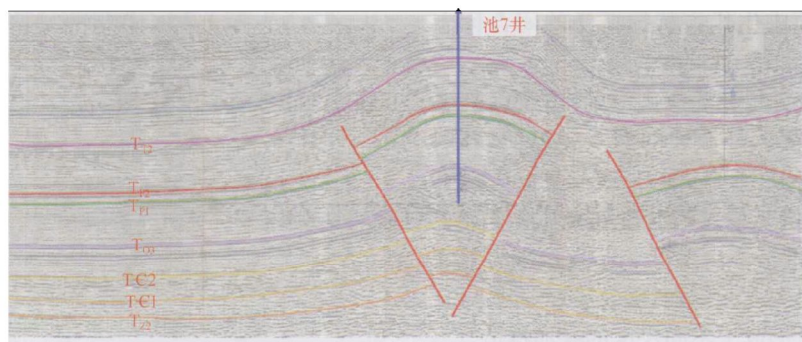
图5 川东池1井附近地震剖面^①

Fig. 5 A Seismic profile near Well Chi-1 in Eastern Sichuan, China

较详细的研究,别出4个变形期^②。

1) 早古生代晚期变形(421 ~ 441 Ma)。表现为华南东南部云开大山—白云山—武夷山—线上盘向NW的伸展剪切变形。这期构造变形反映了造山后伸展—拆沉和垮塌作用。

2) 晚三叠世变形(215 ~ 230 Ma)。此期变形在云开大山变形最为强烈,波及华南南部广大地区,变质杂岩向NE的逆冲变形叠加在早一期变形之上,位于逆冲推覆带之下晚古生代的沉积盖层发生褶皱,但基本未变质。这期构造变形记录了南部印支板块向北东的斜向俯冲碰撞。

3) 晚侏罗世至早白垩世变形。此期变形分布广泛,在龙门山、华蓥山、雪峰山至武夷—云开均可见及,表现为NW—SE向挤压形成的逆冲构造和各种褶皱,但各地变形的构造几何学和变形时间不尽相同。这期构造变形是龙门山向SE逆冲推覆和太平洋板块向NW俯冲共同作用的结果。

4) 早白垩世至第三纪变形。以发育NE—SW走向的高角度脆性正断层为特征,往往在断层的一侧发育箕状盆地,其中充填了粗碎屑岩。这期构造变形可能是区域性走滑断裂所致。

在这4个变形期所影响到的范围内,形成了不同尺度的叠加构造(图6)。其中,主要记录了两个方向的变形:早期为印支期构造,在广西地区为近东西向构造,而在秦岭—大巴山为弧形构造;晚期为燕山期构造,走向为北北东向,叠加在早期不同方位的构造线之上。从构造变形序列可以看出,晚侏罗世至早白垩世变形为南方的主变形期。

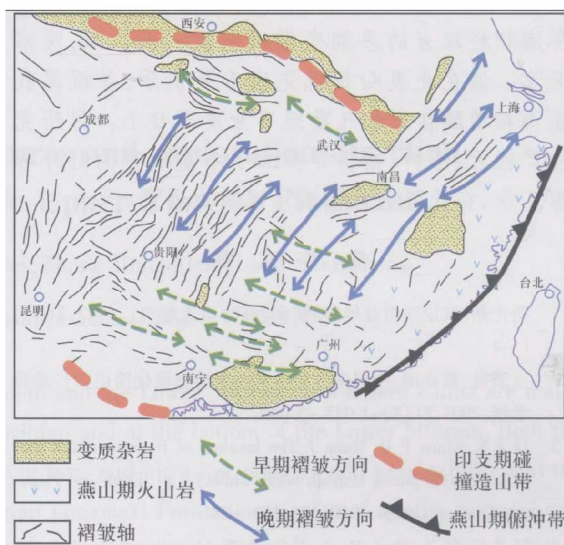


图6 中国南方的构造叠加示意图

Fig. 6 A tectonic superimposition sketch in South China
(虚线示早期构造线方向,实线示晚期构造线方向)

4 结论

1) 制约和影响中国南方古地理演化的主要构造事件包括新元古代晚期至古生代早期的大陆裂谷和被动大陆边缘形成事件、古生代中期华南造山带形成演化事件、古生代晚期张裂事件、中生代古特提斯洋闭合造山事件、侏罗纪以来的太平洋板块俯冲事件、新生代印度板块与欧亚大陆的碰撞事件等。其中形成华南造山带的广西运动标志着扬子地块东南边缘由被动大陆边缘向活动大

① 国家重点基础研究发展规划(973)项目“中国海相碳酸盐岩系油气富集机理与分布预测”(2005CB422106)课题中评估报告,2007

② 国家重点基础研究发展规划(973)项目“中国海相碳酸盐岩系油气富集机理与分布预测”(2005CB422101)课题中评估报告,2007

陆边缘的转变,而中生代古特提斯洋的闭合标志着海水基本上退出南方大陆。

2) 依据野外观测和地震剖面解释,可甄别出中国南方古生界海相烃源岩的四个变形期,分别为早古生代晚期(421~441 Ma)、晚三叠世(215~230 Ma)、晚侏罗世至早白垩世和早白垩世至第三纪。其中晚侏罗世至早白垩世变形为南方的主变形期,构造线走向为北北东向,叠加在早期不同方位的构造线之上,形成了不同尺度的叠加构造。

致谢:笔者自1999年起在刘光鼎先生指导下开始从事叠合盆地油气地质研究。今值刘光鼎先生80华诞之际,应邀撰此短文,对我国南方古生界海相烃源岩的多期变形研究谈一点认识,深感荣幸。谨在此衷心祈祝先生寿辰快乐,并祝愿我国海相碳酸盐岩油气勘探事业蒸蒸日上。另研究生严德天、陈科、褚杨等参加了本次研究的野外考察工作,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 刘光鼎. 试论残留盆地. 勘探家(石油与天然气), 1997, 2(3): 1~4
- 王清晨, 蔡立国. 中国南方显生宙大地构造演化简史[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1 025~1 040
- Li Z X, Kinny P D, Wang J. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, 173: 171~181
- Li Z X, Li X, Zhou H, et al. Grenvillian continental collision in south China: new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. Geology, 2002, 30: 163~166
- Ling W, Gao S, Zhang B, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and break-up of Rodinia Supercontinent[J]. Precambrian Research, 2003, 122: 111~140
- Wang J, Li Z. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up [J]. Precambrian Research, 2003, 122: 141~158
- 李献华, 祁昌实, 刘颖, 等. 扬子地块西缘新元古代双峰式火山岩成因: Hf同位素和 Fe/Mn 新制约[J]. 科学通报, 2005, 50(19): 2 155~2 160
- Hsu K J, Sun S, Li J L. Huanan Alps, not South China platform [J]. Sci China (Ser B), 1988, 19(1): 110~119
- 水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(B辑), 1987, (4): 78~86
- Chen J, Foland K A, Xing F M, et al. Magmatism along the south-east margin of the Yangtze block: Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia blocks of China[J]. Geology, 1991, 19: 815~818
- Zhou X M, Zhu Y H. Late Proterozoic collisional orogen and geosuture in southeastern China: petrological evidence [J]. 1993, 12: 239~251
- Li Z X, Zhang L, Powell C McA. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia? [J]. Geology, 1995, 23: 407~410
- Li X, Li Z X, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at CA 825 Ma? [J]. Precambrian Research, 2003, 122: 45~83
- Huang T K. An outline of the tectonic characteristics of China [J]. Ecolgae Geologicae Helvetiae, 1978, 71: 611~635
- Ren J. On the Geotectonics of Southern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1991, 4: 111~127
- 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 1~236
- 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 1~867
- Yang Z, Sun Z, Yang T, et al. A long connection (750~380 Ma) between South China and Australia: paleomagnetic constraints [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 220: 423~434
- Chung S L, Jahn B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary [J]. Geology, 1995, 23: 889~892
- He B, Xu Y, Chung S L, et al. Sedimentary evidence for a rapid, kilometer-scale crustal doming prior to the eruption of the Emeishan flood basalts [J]. Earth Planet Sci Lett, 2003, 213: 391~405
- 罗志立. 中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产形成的影响[J]. 四川地质学报, 1981, 20(2): 1~22
- 罗志立. 略论地裂运动与中国油气分布[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 21(10): 93~101
- 罗志立, 金以钟, 朱夔玉, 等. 试论上扬子地台的峨眉地裂运动[J]. 地质论评, 1988, 34(1): 11~23
- Wang Q, Li J W, Jian P, et al. Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China): link to Permian-Triassic transtension [J]. Earth Planet Sci Lett, 2005, 230: 339~354
- Li X, Li Z X, Li W, et al. Initiation of the Indosinian orogeny in South China: evidence for a Permian magmatic arc on Hainan Island [J]. The Journal of Geology, 2006, 114: 341~353
- Wang Y, Zhang Y, Fan W, et al. Structural signatures and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block [J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27: 985~998
- Wang D, Shu L, Faure M, et al. Mesozoic magmatism and granitic dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi province and their genetic relationship to the tectonic events in southeast China [J]. Tectonophysics, 2001, 339: 259~277
- Hsu K J, Wang Q, Sun S, et al. Tectonic evolution of Qinling Mountains, China [J]. Ecolgae Geologicae Helvetiae, 1987, 80: 735~752

(下转第622页)

- 135-151
- 33 Steen Q, Sverdrup E, Hanssen T II. Predicting the distribution of small faults in hydrocarbon reservoirs by combining outcrop, seismic and well data [A]. In: Jones G, Fisher Q J, Knipe R J, eds. Faulting, fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs [C]. Geol Soci (London) Special Publ, 1998, 147: 27-50
 - 34 Sylvester A G. Strike-slip faults [J]. Geol Soci Amer Bull, 1988, 100: 1 666-1 703
 - 35 Connolly P, Cosgrove J. Prediction of fracture-induced permeability and fluid flow in the crust using experimental stress data [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(5): 757-777
 - 36 Woodcock N H, Fischer M. Strike-slip duplexes [J]. Jour Struct Geol, 1986, 8: 725-735
 - 37 Sibson R H. Faulting and fluid flow [A]. In: Nesbitt B E, ed. Fluids in tectonically active regimes of the continental crust [M]. Mineral Assoc Canada Short Course Handbook, 1990, 18: 93-132
 - 38 Lewis H, Couples D D. Carboniferous basin evolution of central Ireland—simulation of structural controls on mineralization [A]. In: McCaffrey K, Lonergan L, Wilkinson J, eds. Fractures, fluid flow and mineralization [C]. Geol Soci (London) Special Publ, 1999, 155: 277-302
 - 39 Gize A P, Manning D A C. Aspects of the organic geochemistry and petrology of metalliferous ores [A]. In: Engel M H, Macko S A, eds. Organic geochemistry, principles and applications [M]. New York: Plenum Press, 1993. 565-577
 - 40 Sass-Gustkiewicz M. Internal sediment as a key to understanding the hydrothermal karst origin of the Upper Silesian Zn-Pb ore deposits [A]. In: Sangster D F, ed. Carbonate-hosted lead-zinc deposits [C]. Soci Econ Geol, Special Publ, 1996, 4: 171-181
 - 41 Sagan J A, Hart B S. Three-dimensional seismic-based definition of fault-related porosity development: Trenton-Black River interval, Saybrook, Ohio [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1 763-1 785
 - 42 Russel B, Hampson D, Scheulke J, et al. Multi-attribute analysis [J]. The Leading Edge, 1997, 16: 1 439-1 443

(编辑 李 军)

.....

(上接第588页)

- 29 Sun S, Li J, Lin J, et al. Indosinides in China and the consumption of Eastern Paleotethys. In: Muller D W, McKenzie J A, Weissert H, eds. Controversies in modern geology: evolution of geological theories in sedimentology, earth history and tectonics [M]. London: Academic Press, 1989. 363-384
- 30 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, 25(9): 994-1 003
- 31 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 1-855
- 32 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1-231
- 33 Wang X, Metcalfe I, Ping J, et al. The Jinshajiang-Ailaoshan Suture Zone, China: tectonostratigraphy, age and evolution [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 675-690
- 34 Metcalfe I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 551-566
- 35 Li P, Gao R, Cui J, et al. Paleomagnetic analysis of eastern Tibet: implications for the collisional and amalgamation history of the Three Rivers Region, SW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 24: 291-310
- 36 Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. Tectonophysics, 2000, 326: 269-287
- 37 Yan D P, Zhou M F, Song H L, et al. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust system within the Yangtze block (South China) [J]. Tectonophysics, 2003, 361: 239-254
- 38 Tapponnier P, Xu Z, Roger F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau [J]. Science, 2001, 294: 1 671-1 677
- 39 Teng L S. Geotectonic evolution of Late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan [J]. Tectonophysics, 1990, 183: 57-76
- 40 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1985. 1-853
- 41 尹赞勋, 张守信, 谢翠华. 论褶皱幕 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. 1-106
- 42 Li X, Tatsumoto P M, et al. Age and origin of the Tanghu granite, southeast China: result from U-Pb single zircon and Nd isotopes [J]. Geology, 1989, 17: 395-399
- 43 Chen J, Jahn B M. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence [J]. Tectonophysics, 1998, 284: 101-133
- 44 杨树峰. 成对花岗岩带和板块构造 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1-98

(编辑 董 立)