

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

残留盆地油气系统研究方法

——以中国南方中、古生界海相地层为例

赵宗举^{1,2)} 朱 琰¹⁾ 杨树峰¹⁾ 王根海²⁾ 徐云俊²⁾ 冯加良²⁾ 邓红婴²⁾

1) 浙江大学地球科学系,杭州,310027; 2) 杭州石油地质研究所,310023

内容提要 通过对南方中、古生界油气地质综合研究及勘探成果总结,初步提出一套改造型残留盆地或叠合盆地的油气系统研究方法,其核心思路是强调进行油气地质的“动态演化”研究,主要通过拟三维盆地模拟反演主要烃源岩的时空演化、生烃过程及其不同地质阶段中的生烃强度、资源量,结合古今油气藏解剖分析油气成藏—破坏规律及古构造分析研究油气运聚指向,结合主要构造运动期对南方中、古生界主要油气系统进行了分阶段的动态演化研究,认为南方中、古生界油气勘探的现实对象是次生油气系统及再生烃油气系统,现存的原生油气系统很少,提出南方中、古生界油气勘探有利区为川东北大巴山前缘及石柱复向斜西侧高陡背斜带、苏北盆地阜宁—盐城—海安—兴化—宝应地区、江汉盆地沉湖地区南部潜江—仙桃—牌州—汉参1井地区、江西南鄱阳盆地及云南楚雄盆地北部凹陷,这一认识已经得到苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田及江汉盆地沉湖地区南部开先台西含油构造勘探发现的证实。

关键词 残留盆地 叠合盆地 油气系统 海相地层 中国南方

我国中、古生界海相地层经历了加里东、海西、印支、燕山及喜马拉雅期多期次的构造运动改造,它已经不复是原始沉积及原型盆地的面貌,可称之为残留盆地(刘光鼎,1997)、叠合盆地(徐旺等,1993)或改造型盆地(刘池洋等,1999),其油气演化历史非常复杂,要合理地评价其油气勘探前景及勘探风险,进而为勘探部署决策提供较为可信的依据,目前仍缺乏一套可行的评价思路及方法,这也正是当前国内有关专家、学者(谢秋元,1993;张家骅,1993;王英民等,1996;张抗,1999)积极探索的重大课题之一,笔者结合“九五”期间对南方中、古生界油气地质综合研究及勘探总结,初步提出了一套针对诸如南方中、古生界复杂油气地质评价及其油气系统研究的思路及方法,现简述如下。

1 油气地质条件简况

南方中、古生界海相地层主要发育了下寒武统、下志留统下部、下二叠统、上二叠统及下三叠统5套区域性烃源岩,地区性烃源岩主要有:上震旦统陡山

沱组及下奥陶统(主要分布于中、下扬子区)、中上泥盆统(主要分布于滇黔桂特别是南盘江地区)及上三叠统一下侏罗统煤系(主要分布于四川盆地、楚雄盆地及江汉盆地等),烃源岩热演化程度均较高,以找气为主,仅江苏地区、江汉盆地沉湖地区及萍乡—乐平坳陷的上古生界—三叠系可考虑油气兼探。

南方海相地层主要有震旦系—志留系及志留系—三叠系两大套生储盖组合,前者主要分布于四川盆地及中、下扬子区,又可分成两个次级生储盖组合,即上震旦统陡山沱组及下寒武统(烃源岩)—上震旦统灯影组(储层)—下寒武统(盖层)、下寒武统(烃源岩)—下寒武统上部至下奥陶统中下部(储层)—下奥陶统上部至中下志留统(盖层);后者遍布于整个扬子区,其特点是烃源岩与储盖层间互、组成复杂的“自生自储”式生储盖组合。除此之外,还存在重要的“古生新储”式生储盖组合,即以中、古生界为烃源岩,以中、新生界为储盖层的“下生上储”式组合,主要分布于苏北盆地、江汉盆地、南鄱阳盆地及楚雄盆地等中、新生代陆相盆地中。

注:本文为中国石油天然气集团公司“九五”油气勘探科技工程项目“中国南方海相地层油气系统研究及勘探选区评价”(编号 970205)的研究成果。

收稿日期:2001-09-01;改回日期:2001-11-05;责任编辑:周健。

作者简介:赵宗举,男,1967年生。1989年于成都地质学院获硕士学位,现浙江大学地球科学系在职博士。现任杭州石油地质研究所高级工程师、副总地质师,主要从事油气地质综合研究工作。通讯地址:310023,杭州市西溪路920号,杭州石油地质研究所;电话:0571-85224908;E-mail:zhaozongju@hznc.com 或 zongju1@sina.com。

从已有钻井地层水化学分析看到,南方现今中、古生界具备较好油气保存条件的地区有四川盆地、江汉盆地牌参1井—夏3井—海12井—汉参1井区(潜江—仙桃—牌州地区)及苏北盆地真43井—兴参1井—苏103井—蛤1井区(阜宁—盐城—兴化—宝应地区)等。

2 油气系统研究方法

针对南方中、古生界复杂的油气演化历史,我们进行油气系统研究的主要思路是强调进行“动态演化”的综合分析,只有这样才能较为合理有效及分阶段地反映中、古生界复杂的油气系统演化,基于这样的总思路来进行南方中、古生界重点区块(盆地)的评价分析,也是我们进行改造型残留盆地或叠合盆地评价的思路和方法。

2.1 拟三维盆地模拟

重塑烃源岩的演化历史是我们进行油气系统分析的关键,在对烃源岩热模拟实验基础上,通过建立不同地质演化历史及沉积—构造—油气演化单元的计算机—维盆地模拟点并结合二维盆地模拟,进而近似地模拟与反演烃源岩的生烃过程与时空演化。

选择—维模拟点的原则是尽可能选择实际资料点特别是烃源岩热演化程度资料丰富的数据点,如:钻井、实测地层剖面等;必要时根据已有烃源岩评价资料(R_o 、地层厚度、残余有机碳等)选用虚拟点。现今烃源岩热演化程度是我们进行计算机模拟的重要限定条件,若模拟 R_o 值与实测 R_o 数据点吻合,则认为该计算机模拟是合理的。

2.2 主力烃源岩的生烃强度及其资源量计算

南方中、古生界经历了多期次强烈的构造运动改造,由于其时代老、生烃早、热演化程度高,不同烃源岩的主要生烃期不同,同一烃源岩在不同地区因埋藏历史的不同也表现出不同的生烃高峰期,而强烈的构造运动往往造成油气的散失与破坏,因此鉴于南方这种情况,我们采用不同构造运动期间分别计算重点区块(盆地)的主力烃源岩不同时期的生烃量及油气资源量,为油气系统的“动态演化”分析及综合评价提供更为可信合理的资源依据。应该说,南方中、古生界高热演化的条件下,主要应考虑天然气的勘探,而越晚期生成的烃类对现今潜在的油气藏特别是天然气藏具有更为现实的意义。

2.3 古今油气藏解剖分析

古今油气藏是油气系统存在或破坏的重要直接证据,对已知油气藏的深入分析与解剖,可提供许多

有指导意义的信息及认识,特别是南方众多的古油藏的发现及研究,应该说对指导南方中、古生界隐伏区的油气评价与勘探是有重要的借鉴价值的。

我们对南方已知的主要古今油气藏进行了解剖分析(图1),从中可看出这样的规律性:

(1) 主要分布于黔中隆起北缘、江南隆起带北缘及乐山—龙女寺隆起南缘的、产于上震旦统灯影组及下古生界储层中的古今油气藏,它们的主力烃源均为下寒武统(武蔚文,1989;陈文正,1992;徐克定等,1993;邓宗淮等,1993;赵宗举等,2001),初次成藏期均为加里东晚期(中晚奥陶世—志留纪)(宋文海,1996)。

(2) 产于上古生界储层中的古油藏主要分布于南盘江地区的台地及孤立台地边缘,其烃源也主要来自上古生界本身——以中上泥盆统及二叠系为主(罗槐章等,1991;邓宗淮等,1993;陈学时等,1999);川东及川东南天然气区产于上石炭统黄龙组、二叠系及下三叠统储层之中的高陡背斜气藏,其气源主要为下志留统下部及二叠系—下三叠统本身(王宓君等,1989;杨远聪等,1989;黄良汉,1993);苏北黄桥气田伴生的原油及烃类气体、苏南句容地区容2、3井残留油藏的烃源以下三叠统青龙组为主、还有部分石炭系—二叠系及下志留统等的烃源(费富安,1985),苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田产层为上白垩统泰州组及古近系阜宁组,经江苏油田研究院初步研究认为,其气源主要为古生界海相地层烃源岩。

(3) 已知的以上三叠统—下侏罗统煤系及湖相泥岩为主力烃源岩形成的古今油气藏有:川西上三叠统一侏罗系含气区中坝、平落坝气藏等,川中的下侏罗统含油气区桂花、八角场、南充油气藏等,1998年发现的江汉盆地沉湖地区开先台西含油构造,楚雄盆地元谋隆起西侧的洒芷上三叠统古油藏。

(4) 南方古油气藏主要分布于四川盆地以外的扬子区,综合分析表明,它们的主要破坏期为晚侏罗世—早白垩世,由强烈的燕山运动造成。

(5) 已发现以中、古生界为主力烃源的工业性油气藏分布于四川盆地、苏北盆地及江汉盆地,以气藏为主,油藏较少;在上述盆地中由于有良好的陆相中、新生界盖层,加之这些工业性油气藏的成藏期均较晚、以喜马拉雅期为主,因此,有利于天然气藏的保存。

2.4 油气运移指向分析

分析四川盆地古生界天然气区的成藏规律,非常重要的就是古隆起对油气运聚的控制作用,借鉴

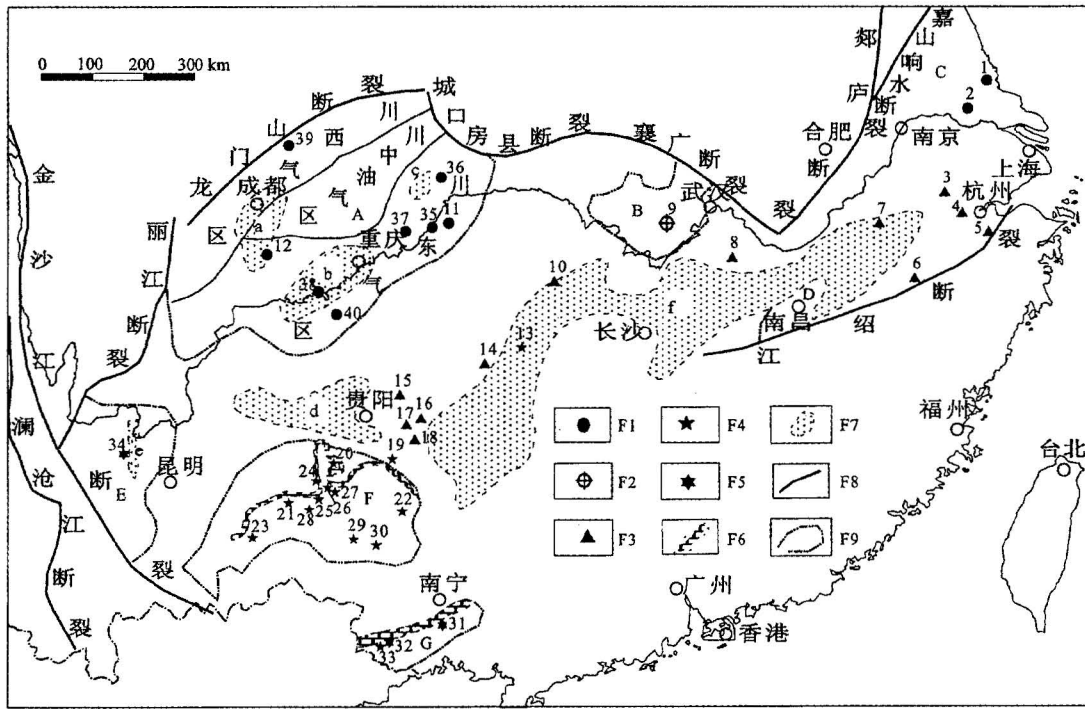


图1 中国南方中、古生界古今油气藏分布与古隆起关系示意图

Fig. 1 Sketch map of relationship between fossil pools & existent oil-gas fields and paleo-uplift in Mesozoic & Paleozoic in southern part of China

F1—天然气田; F2—含油构造; F3—震旦系及下古生界古油气藏; F4—上古生界古油气藏; F5—三叠系古油气藏; F6—二叠纪台缘礁带; F7—古隆起; F8—断裂; F9—盆地边界; a—乐山—龙女寺隆起; b—泸州隆起; c—开江隆起; d—黔中隆起; e—元谋隆起; f—江南隆起; A—四川盆地; B—江汉盆地; C—苏北盆地; D—南鄱阳盆地; E—楚雄盆地; F—南盘江拗陷; G—十万大山盆地; 1—盐城凹陷朱家墩气田; 2—黄桥气田; 3—浙西康山志留系碳沥青; 4—余杭泰山上震旦统古油气藏; 5—绍兴坡塘上震旦统古油气藏; 6—新塘坞上震旦统古油气藏; 7—皖南太平西山志留系碳沥青; 8—湖北通山志留系碳沥青; 9—开先台西上白垩统含油构造; 10—湖南慈利南山坪上震旦统灯影组古油气藏; 11—建南气田; 12—威远气田; 13—湖南辰溪上二叠统长兴组古油气藏; 14—贵州铜仁中寒武统古油气藏; 15—贵州瓮安下寒武统古油气藏; 16—贵州凯里下奥陶统及下志留统古油气藏; 17—贵州麻江下奥陶统及下志留统古油气藏; 18—贵州丹寨上寒武统古油气藏; 19—黔南平塘平火坝下石炭统古油气藏; 20—黔南紫云上二叠统古油气藏; 21—黔南安然二叠系古油气藏; 22—广西南丹大厂中泥盆统古油气藏; 23—滇东温浏上二叠统古油气藏; 24—贞丰百层上二叠统古油气藏; 25—册亨赖子山上二叠统古油气藏; 26—望谟邑赖上二叠统古油气藏; 27—望谟平绕下二叠统茅口组—上二叠统古油气藏; 28—册亨板街下二叠统茅口组—上二叠统古油气藏; 29—凌云下二叠统茅口组—上二叠统古油气藏; 30—巴马所略上二叠统古油气藏; 31—巴西下三叠统古油气藏; 32—崇左下三叠统古油气藏; 33—宁明亭亮下二叠统古油气藏; 34—云南元谋洒芷上三叠统古油气藏; 35—大池干井气田; 36—五百梯气田; 37—卧龙河气田; 38—阳高寺气田; 39—中坝气田; 40—赤水气田

F1—Gas field; F2—oil-bearing trap; F3—Simian & Lower Paleozoic fossil pool; F4—Upper Paleozoic fossil pool; F5—Triassic fossil pool; F6—Permian platform margin reef; F7—Paleo-uplift; F8—fault; F9—basin boundary; a—Leshan—Longnusi uplift; b—Luzhou uplift; c—Kaijiang uplift; d—central Guizhou uplift; e—Yuanmou uplift; f—Jiangnan uplift; A—Sichuan basin; B—Jiangnan basin; C—northern Jiangsu basin; D—southern Poyang basin; E—Chuxiong basin; F—Nanpanjiang depression; G—Shiwandashan basin; 1—Zhujiajun gas field in Yancheng depression; 2—Huangqiao gas field; 3—Silurian bitumen in Kangshan, western part of Zhejiang; 4—Vendian fossil pool in Taishan, Yuhang County; 5—Vendian fossil pool in Potang, Shaoxin; 6—Vendian fossil pool in Xintangwu; 7—Silurian bitumen in Xishan, Taiping County, Anhui; 8—Silurian bitumen in Tongshan, Hubei; 9—Kaixiantaixi Upper Cretaceous oil-bearing traps; 10—Vendian Dengying Fm. fossil pool in Nanshanping, Cili County, Hunan; 11—Jiannan gas field; 12—Weiyuan gas field; 13—Upper Permian Changxin Fm. fossil pool in Chengxi, Hunan; 14—Middle Cambrian fossil pool in Tongren, Guizhou; 15—Lower Cambrian fossil pool in Weng'an, Guizhou; 16—Lower Ordovician & Lower Silurian fossil pool in Kaili, Guizhou; 17—Lower Ordovician & Lower Silurian fossil pool in Majiang, Guizhou; 18—Upper Cambrian fossil pool in Danzhai, Guizhou; 19—Mississippian fossil pool in Pinghuoba, Pingtang County, Guizhou; 20—Upper Permian fossil pool in Ziyun, Guizhou; 21—Permian fossil pool in Anran, Guizhou; 22—Middle Devonian fossil pool in Dachang, Nandan, Guangxi; 23—Upper Permian fossil pool in Wenliu, Yunnan; 24—Upper Permian fossil pool in Baiceng, Zhenfeng; 25—Upper Permian fossil pool in Laizhishan, Ceheng; 26—Upper Permian fossil pool in Balai, Wangmo; 27—Lower Permian Maokou Fm. —Upper Permian fossil pool in Pingrao, Wangmo; 28—Lower Permian Maokou Fm. —Upper Permian fossil pool in Banjie, Ceheng; 29—Lower Permian Maokou Fm. —Upper Permian fossil pool in Lingyun; 30—Upper Permian fossil pool in Suolue, Bama; 31—Lower Triassic fossil pool in Baxi; 32—Lower Triassic fossil pool in Chongzuo; 33—Lower Permian fossil pool in Tingliang, Ningming; 34—Upper Triassic fossil pool in Sazi, Yuanmou, Yunnan; 35—Dachiganjing gas field; 36—Wubaiti gas field; 37—Wolonghe gas field; 38—Yanggaosi gas field; 39—Zhongba gas field; 40—Chishui gas field

这一认识,我们也基于南方中、古生界的古构造、古隆起的存在进行了油气运聚指向的分析。古构造及古隆起分析可通过平衡剖面技术及沉积厚度法、不整合面分析等方法技术实现。

从图2、3中看到,以上震旦统灯影组及下古生界为储层的古今油气藏分别与震旦系及寒武系顶面加里东期—印支期持续的古隆起——江南隆起、黔中隆起及乐山—龙女寺隆起有关,油气藏主要分布于隆起带的边缘;现今川东及川东南高陡背斜带气藏的形成是在印支期—燕山期(中三叠世—白垩纪)形成的泸州及开江古隆起油气藏的基础上经喜马拉雅运动改造形成高陡背斜圈闭的同时造成天然气的重新调整运移分配及水溶脱气成藏的(李一平,1996;胡光灿等,1997),它们应属于次生气藏,总体上气藏充满度随气藏位置远离隆起带中央而减小(冉宏,1994),说明泸州及开江隆起早期(印支期—燕山期)对油气运聚起到了重要的控制作用;而南盘江—十万大山地区的众多产于上古生界储层之中的古油藏则主要分布于晚古生代碳酸盐台地及孤立台地的边缘,泥盆纪—早三叠世的南盘江地区表现为典型的裂谷环境(刘宝珺等,1993),形成特征的台盆—孤立台地相间的沉积—构造格局,沉积时期的台地及孤立台地相对于同期的台盆相来说是相对隆起区,由于台地相以碳酸盐岩沉积为主而台盆相以细碎屑岩、硅质岩沉积为主,造成普遍存在台地相沉积厚度大于台盆相沉积厚度的现象,因此,台地及孤立台地边缘部位是早期台盆相及同期台地相烃源岩的烃源供给及运聚的主要场所,从而形成了众多古油藏,综上所述,古隆起对于南方古生界海相地层的早期油气运聚及原生气藏的形成具有十分重要的控制作用。

2.5 油气系统“动态演化”的综合分析

综合以上各项分析,进行了南方中、古生界主要油气系统的划分及分析,分别绘制了各油气系统的事件图及不同时期的平面展布图(图4),动态地展示了南方中、古生界主要油气系统的演化。

在 Magoon 等(1994)对含油气系统定义的基础上,综合考虑到南方中、古生界海相地层的复杂油气演化情况,同时强调从动态及正演再现油气系统演化与改造、破坏进而进行综合研究的角度,以更深入地认识及总结南方中、古生界海相地层的油气地质问题、油气演化规律及勘探成功与失败的经验教训,对 Magoon 油气系统的定义及命名、分类原则做了适当的修正,以更好地适合于南方的情况。

我们进行油气系统划分的原则是:以主力烃源岩及主要储集层为划分的主要依据,已知的古今油气藏是划分油气系统的重要参考依据,综合考虑不同的油气演化历史及运聚区、主要生烃—成藏期进而进行油气子系统的划分。

油气系统的命名原则是:主力烃源岩—主要储层;油气子系统的命名原则是:油气聚集区—主力烃源岩—主要储层—主要成藏期(可靠级别)。主要成藏期是指主力烃源岩的高峰生烃期(高峰生油—高峰生气)直至主要的油气运聚结束的时期。

可靠级别划分为:①已知的油气系统:指已经发现的古今油气藏为代表的油气系统,又可分成:已知存在的油气系统:是指已经发现了油气藏的现今仍然存在的油气系统;已知破坏的油气系统:指主要表现为已经破坏了的古油藏及油气显示的油气系统。②潜在的油气系统:指通过综合分析认为现今仍然存在的油气系统。③推测破坏的油气系统:根据综合分析及类比,推测地质历史时期曾经存在过的但现今已被破坏的油气系统。

油气系统事件图(图5)上所表示的保持期是指该油气系统及其油气藏形成以后直至最终遭到彻底破坏的时期,破坏期是指油气系统及其油气藏遭到部分或彻底破坏作用的时期。主要事件是指油气系统及其油气藏最初形成、主要相态转变及遭受改造调整、破坏等对油气系统及其油气藏产生了关键的或者重要影响的地质作用的时期,由于构造运动对南方中、古生界油气演化起到了至关重要的控制作用,一般地,我们采用重要的构造运动期作为主要事件。

进行油气系统分析,非常重要的一方面是动态地考虑主要烃源岩在不同地质历史时期的生烃强度,要形成有工业价值的油气系统或油气藏,其主要烃源岩的生烃强度应该达到形成工业性油气藏的下限,据研究(戚厚发等,1992),中国含油气盆地生烃强度分类为(天然气当量):大中型油气田(最大 $>100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、平均 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$)、中小型油气田(最大 $50 \times 10^8 \sim 100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、平均 $10 \times 10^8 \sim 20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$)、小型油气田(最大 $25 \times 10^8 \sim 50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、平均 $5 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$)、非工业性油气藏(最大 $<25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、平均 $<5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$)。因此,我们采用的生烃强度下限指标为气当量 $5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

从成因分析角度出发,将南方中、古生界的油气系统分成如下3大类:

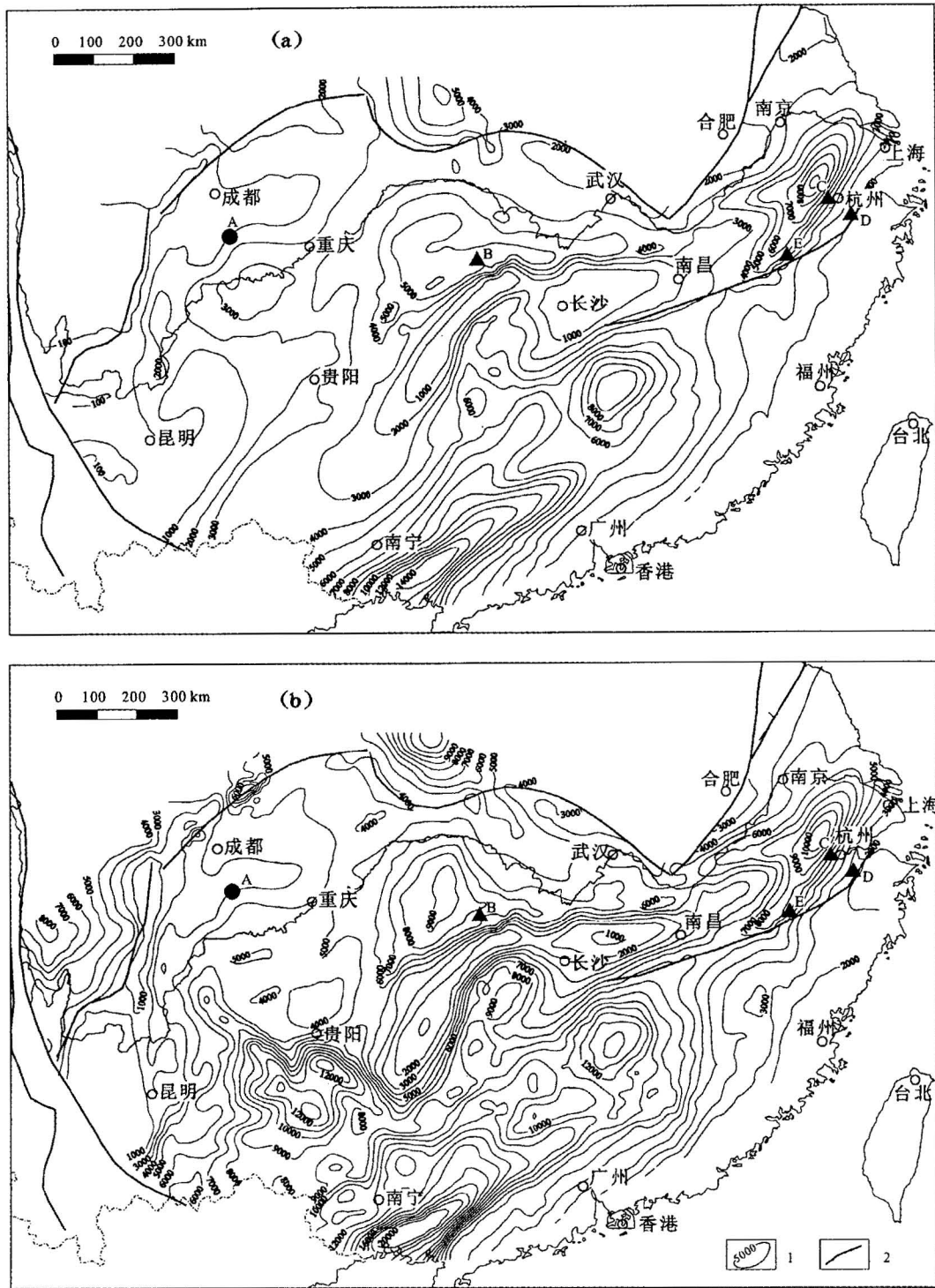


图 2 中国南方震旦系顶面埋深图

Fig. 2 Buried depth map of the Sinian top in southern part of China

(a)—志留纪末; (b)—中三叠世末; 1—震旦系顶面埋深等值线(m); 2—断裂; A—威远气田; B—湖南慈利南山坪上震旦统灯影组古油藏; C—余杭泰山上震旦统古油藏; D—绍兴坡塘上震旦统古油藏; E—新塘坞上震旦统古油藏

(a)—At the end of the Silurian; (b)—at the end of the Middle Triassic; 1—buried depth contour of the Sinian top (m); 2—fault; A—Weiyuan gas field; B—Vendian Dengying Fm. fossil pool in Nanshanping, Cili County, Hunan; C—Vendian fossil pool in Taishan, Yuhang County; D—Vendian fossil pool in Potang, Shaoxing; E—Vendian fossil pool in Xintangwu

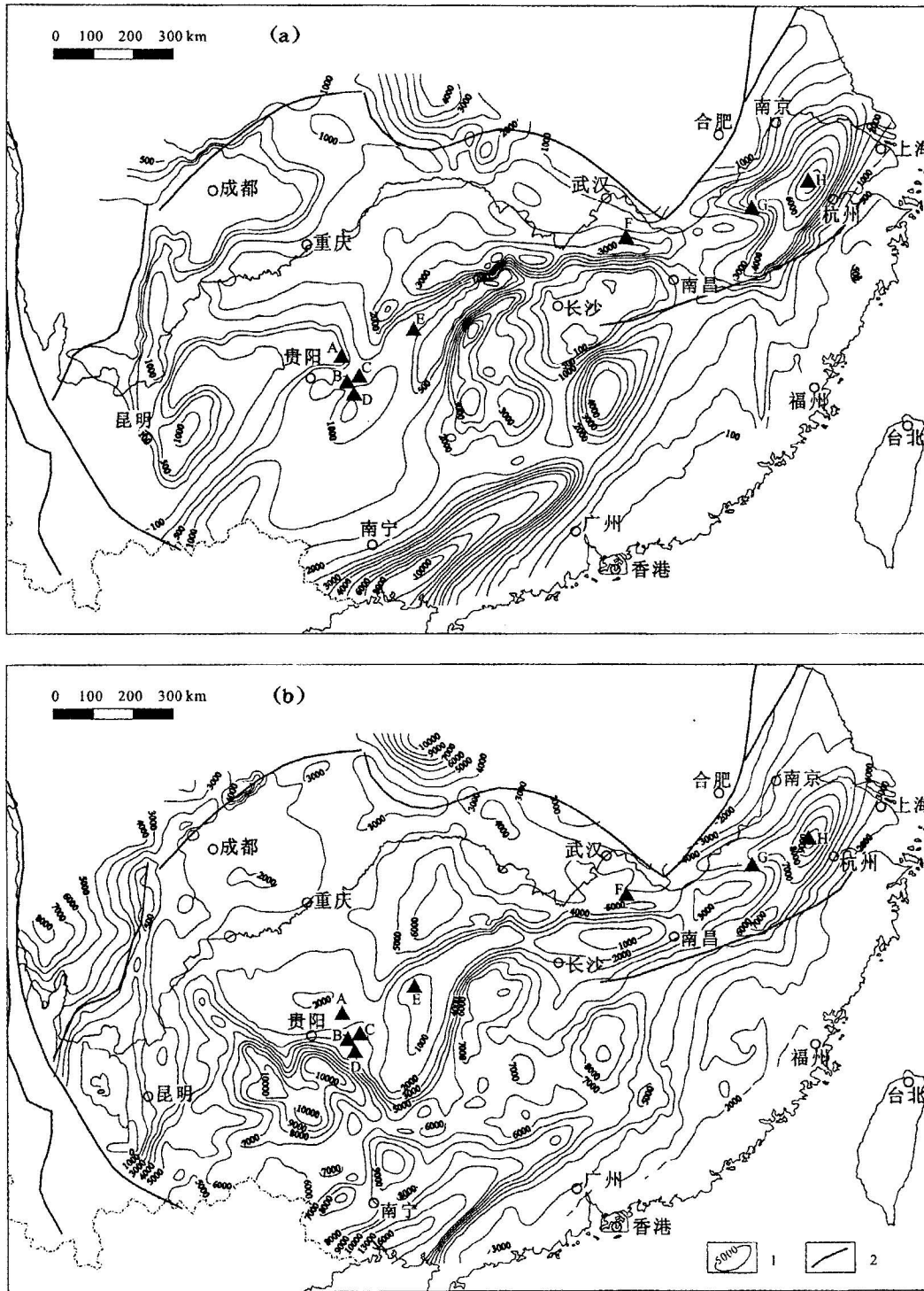


图 3 中国南方寒武系顶面埋深图

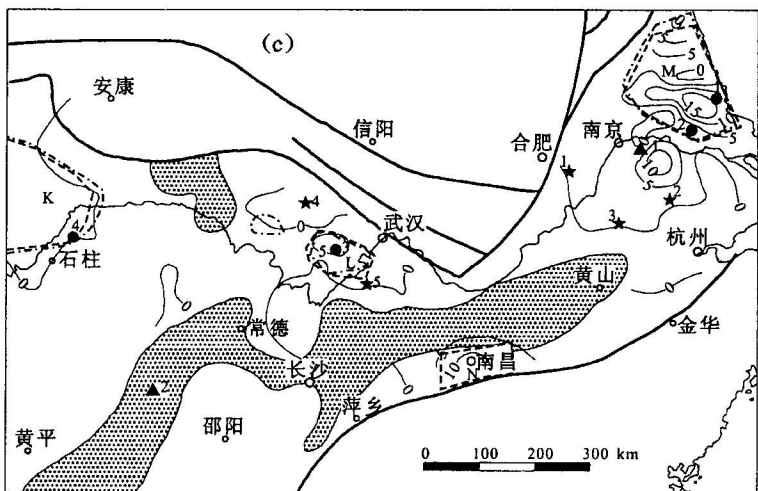
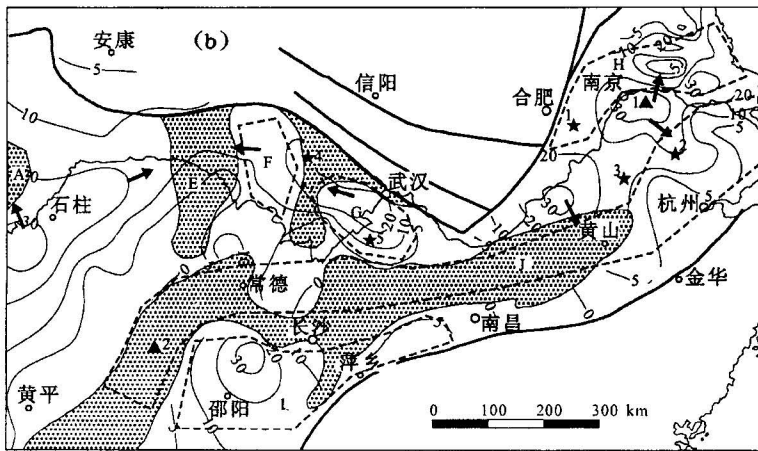
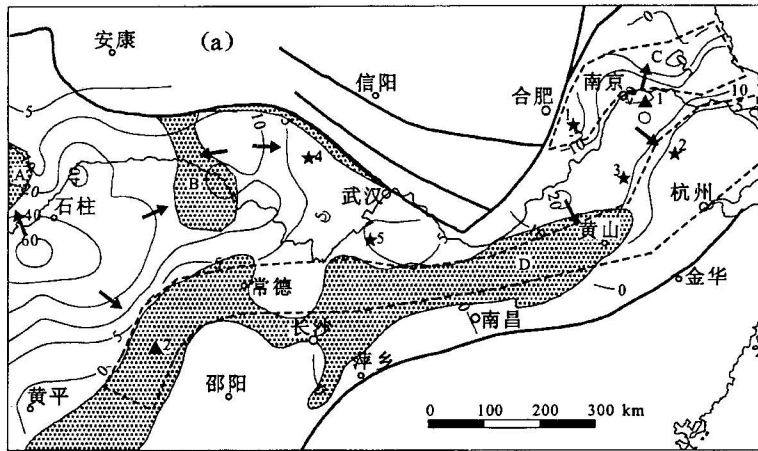
Fig. 3 Buried depth map of the Cambrian top in southern part of China

(a)—志留纪末；(b)—中三叠世末；1—寒武系顶面埋深等值线(m)；2—断裂；A—贵州瓮安下寒武统古油藏；B—贵州麻江下奥陶统及下志留统古油藏；C—贵州凯里下奥陶统及下志留统古油藏；D—贵州丹寨上寒武统古油藏；E—贵州铜仁中寒武统古油藏；F—湖北通山志留系碳沥青；G—浙西康山志留系碳沥青；H—安徽太平西山志留系碳沥青

(a)—At the end of the Silurian；(b)—at the end of the Middle Triassic；1—buried depth contour of the Cambrian top (m)；2—fault；A—Lower Cambrian fossil pool in Weng'an, Guizhou；B—Lower Ordovician & Lower Silurian fossil pool in Majiang, Guizhou；C—Lower Ordovician & Lower Silurian fossil pool in Kaili, Guizhou；D—Upper Cambrian fossil pool in Danzhai, Guizhou；E—Middle Cambrian fossil pool in Tongren, Guizhou；F—Silurian bitumen in Tongshan, Hubei；G—Silurian bitumen in Kangshan, western part of Zhejiang；H—Silurian bitumen in Xishan, Taiping County, Anhui

图4 中下扬子区 S₁. P. T₁-C. P. T₁ 油气系统分布图

Fig. 4 The map of S₁. P. T₁-C. P. T₁ petroleum system in the middle & lower Yangzi area of China



(a)—晚三叠世中期;(b)—白垩纪早期;(c)——现今;
 A—开江隆起子系统;B—黄陵隆起子系统;C—苏北子系统;D—江南隆起子系统;E—黄陵隆起子系统的破坏;F—当阳子系统的形成与破坏;G—沉湖子系统的形成与改造;H—苏北子系统的改造与破坏;I—湘中赣中子系统的形成与破坏;J—江南隆起子系统的破坏;K—川东再分配子系统;L—沉湖再生烃子系统;M—苏北再生烃子系统;N—南鄱阳盆地再生烃子系统;1—油气系统边界;2—油气运移方向;3—构造边界断裂;4—石炭系、二叠系及下三叠统顶面隆起;5—前白垩系封存及次封存地层水边界;6—下志留统、二叠系及下三叠统烃源岩生烃强度等值线($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$);▲1—容2井下三叠统残留油藏;▲2—辰溪上二叠统古油藏;★1—巢县下三叠统油苗;★2—煤山上二叠统油苗;★3—宣城上二叠统油苗;★4—京山下二叠统油苗;★5—浦圻下二叠统油苗;●1—朱家墩气田;●2—黄桥气田;●3—开先台西上白垩统含油构造;●4—建南气田

(a)—Middle stage of the Late Triassic; (b)—Early stage of the Cretaceous; (c)—nowadays; A—Kaijiang uplift sub-system; B—Huanglin uplift sub-system; C—northern Jiangsu sub-system; D—Jiangnan uplift sub-system; E—destroy of Huanglin uplift sub-system; F—form & destroy of Dangyang sub-system; G—form & transform of Chenhu sub-system; H—transform & destroy of northern Jiangsu sub-system; I—form & destroy of middle Hunan—Jiangxi sub-system; J—destroy of Jiangnan uplift sub-system; K—eastern Sichuan re-allocation sub-system; L—Chenhu regenerated sub-system; M—northern Jiangsu regenerated sub-system; N—southern Poyang basin regenerated sub-system; 1—boundary of petroleum system; 2—hydrocarbon migration direction; 3—tectonic boundary fault; 4—uplift of top of Carboniferous, Permian & Lower Triassic; 5—burial water or sub-included water boundary of pre-Cretaceous; 6—hydrocarbon-yielding intensity contour ($\times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$) of Lower Silurian, Permian & Lower Triassic source rocks; ▲1—well Rong-2 Lower Triassic residual oil pool; ▲2—Chengxi Upper Permian fossil oil pool; ★1—Caoxian Lower Triassic showing of oil; ★2—Meishan Upper Permian showing of oil; ★3—Xuancheng Upper Permian showing of oil; ★4—Jingshan Lower Permian showing of oil; ★5—Puqi Lower Permian showing of oil; ●1—Zhujiadun gas field; ●2—Huangqiao gas field; ●3—Kaixiantaixi Upper Cretaceous oil-bearing trap; ●4—Jiannan gas field

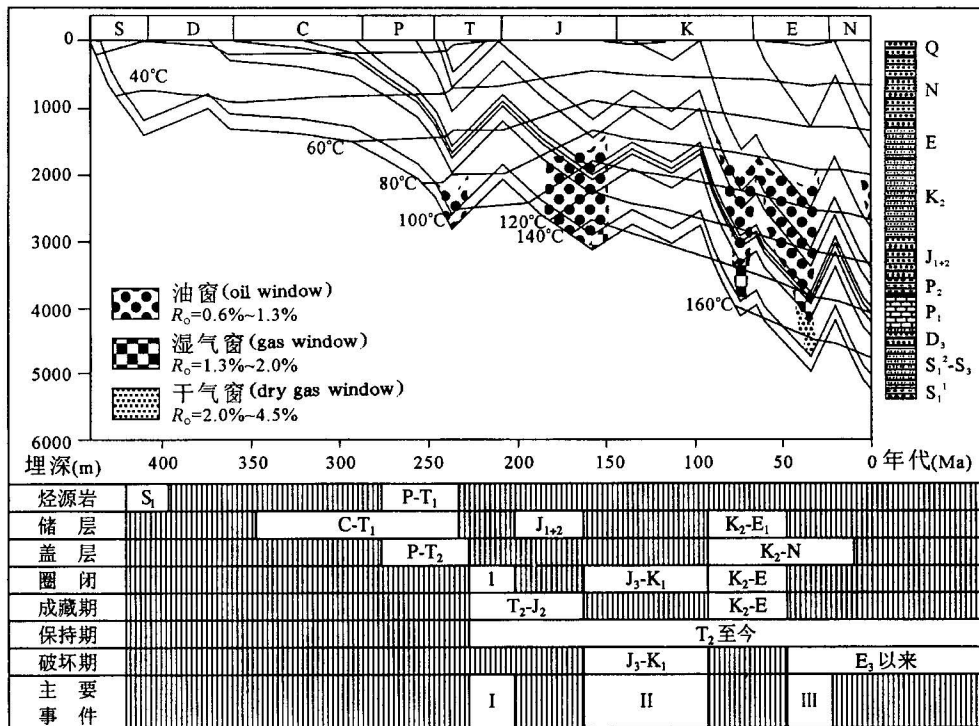


图 5 苏北及其再生烃源 S₁. P. T₁-(C-E₁)-(T₂-E)油气子系统事件图

Fig. 5 Buried history & events map of reproductive hydrocarbon sub-petroleum system of S₁. P. T₁-(C-E₁)-(T₂-E) in northern part of Jiangsu

1—中三叠世末—晚三叠世初期、印支运动主幕形成苏北中、古生界之中的宽缓低隆；I—中三叠世末—晚三叠世初期印支运动主幕初次形成油藏；II—晚侏罗世—早白垩世的燕山运动主幕主要造成对油气藏的改造、调整与破坏；III—渐新世—新近纪的喜马拉雅运动促使早期及再生油气的重新调整聚集与部分破坏

1—In the end of Middle Triassic to early Late Triassic, broad low up-lift in the Mesozoic & Paleozoic had been formed in northern Jiangsu by Indosinian Movement; I—oil pool had first been formed by Indosinian Movement in the end of Middle Triassic to early Late Triassic; II—oil & gas pools had mainly been transformed, adjusted and destroyed by Yanshanian Movement in the Late Jurassic to Early Cretaceous; III—the early-accumulated and regenerated hydrocarbon had been adjusted, re-accumulated and partly destroyed by Himalayan Movement in Oligocene to Neogene

(1)原生油气系统：指初次形成而后期基本未经改造的油气系统。南方这类现存的油气系统很少。

(2)次生油气系统：指原生油气系统被改造、重新调整、再次运聚形成的油气系统，或形成诸如威远气田水溶气脱气成藏(邱蕴玉等, 1994)的油气系统均属次生油气系统。

(3)再生烃油气系统：指曾经有过生烃过程但因后期抬升而停止生烃的烃源岩被再次深埋或构造热事件的作用下，由烃源岩二次或多次生烃的后期生烃过程所形成的油气系统。

以上油气系统的成因分类，应着重每一油气系统在演化过程中的主要表现形式及其主要特征，严格讲，南方中、古生界复杂的油气演化历史决定了其油气系统的复杂性，严格按照上述标准对南方中、古

生界的油气系统进行分类是很困难的，实际上所有的油气系统都是经过原生油气系统改造或演变而来。

根据上述原则，将南方中、古生界主要油气系统划分为两大类：中、古生界原生及次生油气系统和

2.5.1 中、古生界原生及次生油气系统

目前南方已知的主要古油藏是地质历史时期的原生油气系统被破坏的遗迹，现存的原生油气系统及其油气藏很少，可能仅川西的部分上三叠统气藏(罗启后等, 1996)、川中的下侏罗统油藏及川东的二叠系生物礁等岩性气藏属于原生油气藏，而已知存在的次生油气系统主要分布于四川盆地，亦即四川盆地已发现的中、古生界气藏主要属于次生成因的

天然气藏(李一平,1996;罗啸泉等,1997)。南方主要的中、古生界原生及次生油气系统具体包括: \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy 油气系统、 \in_1 - Pz_1 油气系统、 S_1 、 P 、 T_1 -

C_1 、 T_1 油气系统、 D 、 C_1 - D 、 C_1 油气系统、 T_3 、 J_1 - T_3 、 J 、 K 油气系统,每一油气系统又可划分出若干主要的油气子系统,如表1所示。

表1 中国南方中、古生界原生及次生油气系统划分

Table 1 Classification of Mesozoic & Paleozoic primary & secondary petroleum systems in southern China

油气子系统	按可靠级别划分油气子系统			
	已知存在的	潜在的	已知破坏的	推测破坏的
\in_1 (Z_2ds)- Z_2dy 油气系统	乐山-龙女寺隆起 \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy -($S-N$) 油气子系统	宁巢台地 \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy -($S-J_2$) 油气子系统	江南隆起 \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy -($S-T_2$) 油气子系统	京山-应城隆起 \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy -($S-T_2$) 油气子系统, 黄陵-当阳及鹤峰低隆 \in_1 (Z_2ds)- Z_2dy -($S-T_2$) 油气子系统
\in_1 - Pz_1 油气系统		乐山-龙女寺隆起 \in_1 - \in_1 、 O_1 -($S-N$) 油气子系统	江南隆起 \in_1 - Pz_1 -($S-J_2$) 油气子系统	京山-应城隆起 \in_1 - Pz_1 -($S-T_2$) 油气子系统, 黄陵-当阳及鹤峰低隆 \in_1 - Pz_1 -($S-T_2$) 油气子系统, 宁巢台地 \in_1 - Pz_1 -($S-J_2$) 油气子系统
S_1 、 P 、 T_1 - C 、 P 、 T_1 油气系统	川东南(泸州、开江隆起) S_1 、 P 、 T_1 - C_2 、 P 、 T_1 -(T_2-N) 油气子系统, 苏北盆地及其再生烃源 S_1 、 P 、 T_1 -($C-E_1$)-(T_2-E) 油气子系统	江汉盆地沉湖地区及其再生烃源 S_1 、 P 、 T_1 -($C-E_1$)-(J_3-E) 油气子系统	江南隆起 S_1 、 P 、 T_1 - C 、 P 、 T_1 -(T_2-J_2) 油气子系统, 湘中赣中 Pz_2 、 T_1 - C 、 P 、 T_1 -(T_2-J) 油气子系统, 南盘江坳陷 P 、 T_{1+2} - P 、 T_{1+2} -(T_2-J_3) 油气子系统, 十万大山盆地 P 、 T_{1+2} - P 、 T_{1+2} -(T_2-J_3) 油气子系统	黄陵隆起 S_1 、 P 、 T_1 - C_2 、 P 、 T_1 -(T_2-J_2) 油气子系统, 江汉盆地当阳地区 S_1 、 P 、 T_1 - C_2 、 P 、 T_1 -(J_3-K_1) 油气子系统
D 、 C_1 - D 、 C_1 油气系统			南盘江坳陷 D 、 C_1 - D_{2+3} 、 C_1 -(C_2-J_3) 油气子系统, 十万大山盆地 D_1 - D -(C_3-J_3) 油气子系统	
T_3 、 J_1 - T_3 、 J 、 K 油气系统	川西北及川中 T_3 、 J_1 - T_3 、 J -(J_3-N) 油气子系统, 江汉盆地沉湖地区及其再生烃源 T_3 、 J_1 - T_3 、 J 、 K -(J_3-E) 油气子系统	楚雄盆地北部凹陷 T_3 (J_2-3)- T_3 、 J_2 、 K -(J_2-E_3) 油气子系统		

2.5.2 中、古生界再生烃油气系统

再生烃油气系统实际上就是中、古生界烃源岩“二次生烃”所形成的油气系统,将其与原生及次生油气系统分别讨论的缘故是:原生及次生油气系统主要强调烃源岩在持续埋藏及连续生烃情况下主要表现为“一次”连续生烃过程或者是在断续埋藏、多期生烃的初次生烃过程中所形成的原生油气系统及其被改造、调整后所形成的次生油气系统,而再生烃油气系统主要强调烃源岩在断续埋藏、多期生烃的后期生烃或“二次生烃”过程中所形成的油气系统,主要强调“晚期生烃”的贡献及作用,因此,具体评价这两类油气系统应该有不同的标准,以便于进行油气勘探选区评价。

我国已经发现并基本上公认的较典型的由石炭系一二叠系煤系烃源岩“二次生烃”形成的油气藏有:河南东濮坳陷的文留气田(朱家蔚,1985)、文北-户部寨气田(许化政等,1994),河北冀中坳陷的苏桥气田(秦建中等,1991)、黄骅坳陷孔古4井油气藏(石

彦民等,1998);黄骅坳陷孔古3井油藏主要是由奥陶系“二次生烃”形成(王兆云等,1997),近年来发现的冀中坳陷信安镇气藏、黄骅坳陷乌马营气藏可能也属于石炭系一二叠系煤系烃源岩“二次生烃”形成的;我们初步研究认为,苏北盆地盐城凹陷朱家墩气田属于古生界海相烃源岩“二次生烃”形成的,江汉盆地沉湖地区开先台西白垩系含油构造主要是由上三叠统一下侏罗统煤系烃源岩在晚白垩世一古近纪期间“二次生烃”形成的。

南方中、古生界分布的广大地区除四川盆地外,基本均遭受了较强的燕山运动特别是晚侏罗世一早白垩世燕山运动主幕的改造,造成部分地区以二叠系一下三叠统及上三叠统一下侏罗统为主的中、古生界烃源岩在三叠纪一侏罗纪期间经历了初次埋藏及生烃过程、晚侏罗世一早白垩世燕山运动使之抬升埋藏变浅及暂停生烃过程、晚白垩世一古近纪期间再次埋藏并产生“二次生烃”过程,从而具备了形成再生烃油气系统的条件,根据这样的条件并结合

综合分析认为,南方主要的中、古生界再生烃油气系统有:苏北盆地再生烃源 $S_1, P, T_1-(C-E_1)-(K_2-E)$ (潜在的)油气子系统、江汉盆地沉湖地区再生烃源 $P, T_1, T_3, J_1-(P-E_1)-(K_2-E)$ (潜在的)油气系统和南鄱阳盆地再生烃源 $C, P, T_1-(C-K_2)-(K_2-E)$ (潜在的)油气子系统。

实际油气系统的成因比较复杂,其油气可能既有“二次生烃”的来源,又有初次及早期生烃的贡献,因此,从综合分析现存油气系统的可能性及考虑燕山运动对早期油气的破坏散逸等角度,对于苏北盆地及其再生烃源 $S_1, P, T_1-(C-E_1)-(T_2-E)$ (潜在的)油气子系统、江汉盆地沉湖地区及其再生烃源 $S_1, P, T_1, T_3, J_1-(C_2-E_1)-(J_3-E)$ (潜在的)油气子系统来说,其现实的烃源贡献主要为“二次生烃”来源,因此,其再生烃油气系统应该是现实的勘探对象。

这里仅以中下扬子区的 S_1, P, T_1-C, P, T_1 油气系统为例说明油气系统“动态演化”的综合分析方法。

从图4a中看到,二叠系一下三叠统及下志留统在晚三叠世中期以前的累计生烃强度较大,在湘鄂西及钱塘拗陷成为当时的生烃中心,油气运移的指向是生烃中心四周的古隆起带如:开江隆起、江南隆起、黄陵鹤峰低隆及宁巢台隆,从而在这些隆起上初次形成了相应的油气子系统,由于当时有三叠系特别是中三叠统较厚的区域盖层,致使油气系统保存较好。

图4b显示在晚三叠世中期—侏罗纪期间,除湘鄂西及钱塘拗陷继续为生烃中心、保持了较大的生烃强度外,由于侏罗系的沉积加载使江汉盆地沉湖及当阳地区、湘中赣中地区也具备了较大生烃强度、成为生烃中心,除了早期古隆起的继续发展及存在外,在晚侏罗世—早白垩世燕山运动主幕的改造下使除四川盆地以外的中下扬子区普遍遭受较强的冲断褶皱及抬升剥蚀,在江南、黄陵隆起及宁巢台隆上的早期及同期油气系统受到改造、调整甚至破坏,在江汉盆地沉湖及当阳地区、湘中赣中地区形成油气子系统的同时也使其遭到改造及破坏,根据构造改造程度推断,江南、黄陵隆起及当阳、湘中赣中油气子系统可能遭到了严重破坏,江南隆起上湖南辰溪上二叠统长兴组自生自储的古油藏及湘中地区上古生界中众多的油气苗显示,说明是这些油气系统破坏的证据。

图4c显示白垩纪以来二叠系一下三叠统及下

志留统的生烃强度仅在江苏、江汉盆地沉湖南部地区及南鄱阳盆地达到了形成工业性油气藏的标准,实际上就是二叠系一下三叠统及下志留统烃源岩的“二次生烃”强度,加之在苏北盆地、江汉盆地沉湖南部地区及南鄱阳盆地具有白垩系—古近系、新近系较好的陆相细碎屑岩及含膏盐岩盖层,因此,在这3个地区形成了再生烃油气系统,苏北盆地朱家墩气田及苏南句容地区容2、3井残留油藏应该是再生烃油气系统的代表;而川东地区由于喜马拉雅运动使之形成高陡背斜圈闭的同时也形成了天然气重新分配及水溶脱气成因的次生天然气系统及天然气藏。

从图5看到,苏北盆地二叠系一下三叠统及下志留统烃源岩在中、晚侏罗世进入初次生烃过程,在晚侏罗世—早白垩世构造抬升暂停生烃及造成对早期油气的改造与散逸,晚白垩世—古近纪再次埋深而产生“二次生烃”过程,因此,对于苏北盆地,更为现实的油气勘探对象应该是再生烃油气系统。图中的圈闭形成期包括3期:① 中三叠世末—晚三叠世初期,印支运动主幕形成苏北中、古生界之中的宽缓低隆;② 晚侏罗世—早白垩世,燕山运动主幕造成苏北地区中、古生界尤其是上古生界及中生界的强烈冲断褶皱,形成现今所见的主要圈闭;③ 晚白垩世—古近纪,先期的挤压构造负反转形成同生断鼻及断背斜圈闭构造。成藏期包括2期:① 中晚三叠世—中侏罗世,形成原生油气藏;② 上石炭统一下三叠统烃源岩在晚侏罗世—早白垩世期间因构造运动抬升、埋藏变浅而暂停生烃及造成原生油气藏的破坏,晚白垩世—古近纪时再次深埋而造成再次生烃形成再生烃油气藏。主要事件有3期:Ⅰ—中三叠世末—晚三叠世初期的印支运动主幕初次形成油藏;Ⅱ—晚侏罗世—早白垩世的燕山运动主幕主要造成对油气藏的改造、调整与破坏;Ⅲ—渐新世—新近纪的喜马拉雅运动促使早期及再生油气的重新调整聚集与部分破坏。

3 选区评价

鉴于南方中、古生界遭受了多期次强烈构造运动改造,现今绝大部分地区已经成为冲断隆升的剥蚀区,从已有钻井地层水化学看到,由于中、古生界的剥露及断裂的破坏作用,造成其盖层及油气保存条件变差甚至彻底的破坏,因此,对于中、古生界剥蚀强烈及盖层、保存条件缺乏的地区,基本上没有找到工业性油气藏的希望,我们对这样的地区暂时不作为潜在的有利区评价。

参 考 文 献

- 陈学时, 耿忠霞. 1999. 广西十万大山盆地二叠统生物礁古油藏及隐伏礁预测. 地质学报, 73(4): 350~360.
- 邓宗淮, 陈国栋. 1993. 贵州及邻区古油藏研究. 见: 石宝珩等主编. 扬子海相地质与油气. 北京: 石油工业出版社, 296~308.
- 费富安. 1985. 苏北黄桥地区二氧化碳气的地球化学特征及成因探讨. 成都地质学院学报, (4): 20~27.
- 郭福祥. 1998. 中国南方中生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程. 地质学报, 72(1): 22~33.
- 胡光灿, 谢姚祥. 1997. 中国四川东部高陡构造石炭系气田. 北京: 石油工业出版社, 47~125.
- 黄良汉. 1993. 中扬子区海相地层油气源对比. 见: 石宝珩等主编. 扬子海相地质与油气. 北京: 石油工业出版社, 188~200.
- 李一平. 1996. 四川盆地已知大中型气田成藏条件研究. 天然气工业, 16(增刊): 1~12.
- 刘宝瑁, 许效松, 潘杏南, 等. 1993. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社, 40~46.
- 刘池洋, 孙海山. 1999. 改造型盆地类型划分. 新疆石油地质, 20(2): 79~82.
- 刘光鼎. 1997. 试论残留盆地. 勘探家, 2(3): 1~4, 45.
- 罗槐章, 齐敬文, 杨芝林. 1991. 南盘江拗陷安然构造生物礁中的沥青及油源对比. 西南石油学院学报, 13(4): 21~30.
- 罗启后, 王世谦. 1996. 四川盆地中西部三叠系重点含气层系天然气富集条件研究. 天然气工业, 16(增刊): 40~54.
- 罗啸泉, 郭东晓. 1997. 川西孝泉一新场气田侏罗系次生气藏成藏条件初探. 天然气工业, 17(3): 74~75.
- Magoon L. B., Dow W. G., 1994. The petroleum system: from source to trap. AAPG Memoir 60
- 戚厚发, 孔志平. 1992. 我国较大气田形成及富集条件分析. 天然气地质研究. 北京: 石油工业出版社, 8~14.
- 秦建中, 郭树之, 王东良. 1991. 苏桥煤型气田地化特征及其对比. 天然气工业, 11(5): 21~26.
- 邱蕴玉, 徐灏, 黄华梁. 1994. 威远气田成藏模式初探. 天然气工业, 14(1): 9~13.
- 冉宏. 1994. 川东石炭系气藏天然气充满度类型及其控制因素探讨. 天然气工业, 14(5): 34~37.
- 石彦民, 于俊利, 廖前进, 等. 1998. 黄骅拗陷孔西地区油气的地球化学特征及油源初探. 石油学报, 19(2): 5~11.
- 宋文海. 1996. 乐山-龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究. 天然气工业, 16(增刊): 13~26.
- 王宓君, 包茨, 肖明德, 等. 1989. 中国石油地质志(卷十)四川油气区. 北京: 石油工业出版社, 111~151.
- 王英民, 钱奕中. 1996. 残留盆地的特征及其油气资源评价方法的发展方向. 海相油气地质, 1(1): 48~51.
- 王兆云, 程克明, 杨池银, 等. 1997. 黄骅拗陷孔西潜山下古生界原生油. 石油勘探与开发, 24(3): 1~4.
- 武蔚文. 1989. 贵州东部若干古油藏的形成和破坏. 贵州地质, 18(1): 9~22.
- 谢秋元. 1993. 盆地原型、叠加与油气分布. 见: 孙肇才等主编. 中国油气盆地分析——朱夏学术思想研讨文集. 北京: 石油工业出版社, 128~135.
- 徐克定, 金梅春, 周光荣. 1993. 浙西古油藏成藏条件与演化特征. 见: 石宝珩等主编. 扬子海相地质与油气. 北京: 石油工业出版社, 277~285.
- 陈文正. 1992. 再论四川盆地威远震旦系气藏的气源. 天然气工业, 12(6): 28~32.
- 徐旺, 姚慧君. 1993. 叠合盆地及其含油性. 见: 孙肇才等主编. 中国油气盆地分析——朱夏学术思想研讨文集. 北京: 石油工业出版社, 32~46.
- 许化政, 乔治清, 张亚敏. 1994. 文北一户部寨气田的发现及意义. 天然气工业, 14(3): 11~15.
- 杨远聪, 王廷栋, 游莉, 等. 1989. 川东地区上二叠统长兴组油气生成. 石油勘探与开发, 16(3): 32~41.
- 张家骅. 1993. 残留盆地的判别标志及石油地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 18(6): 735~740.
- 张抗. 1999. 改造型盆地与天然气勘探. 天然气工业, 19(3): 1~6.
- 朱家蔚. 1985. 东濮凹陷文留天然气藏成因及煤成气资源预测. 中原油气田地质, (2): 45~57.

References

- Chen Xueshi, Geng Zhongxia. 1999. Reef palaeopool and prediction of buried reefs in the Lower Permian Series from Shiwandashan basin of Guangxi Province. Acta Geologica Sinica, 73(4): 350~360 (in Chinese with English abstract).
- Deng Zonghuai, Chen Guodong. 1993. The study of fossil pools in Guizhou Province and its adjacent areas. In: Shi Baoheng, et al., ed. Marine geology and petroleum of Yangtze area. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 296~308 (in Chinese).
- Fei Fu'an. 1985. A discussion of geochemical characteristics and the origin of CO₂ in Huangqiao area, north Jiangsu. Journal of Chengdu College of Geology, (4): 20~27 (in Chinese with English abstract).
- Guo Fuxiang. 1998. Meso-Cenozoic Nanhua (south China) orogenic belt-subaerial tridirectional orogen. Acta Geologica Sinica, 72(1): 22~33 (in Chinese with English abstract).
- Hu Guangcan, Xie Yaoxiang. 1997. Carboniferous gas fields of narrow and steep traps in eastern Sichuan, China. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 47~125 (in Chinese).
- Huang Lianghan. 1993. Oil-gas vs. Source rock correlation of marine strata in middle Yangtze area. In: Shi Baoheng, et al., ed. Marine geology and petroleum of Yangtze area. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 188~200 (in Chinese).
- Li Yiping. 1996. Reservoir-formed condition research on the known large-medium gas fields in Sichuan basin. Natural Gas Industry, 16 (sup.): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, et al. 1993. Sedimentation evolution and ore deposits of southern China paleo-continent. Beijing: Science Press, 40~46 (in Chinese).
- Liu Chiyang, Sun Haishan. 1999. Classification of reformed basin. Xinjiang Petroleum Geology, 20(2): 79~82 (in Chinese with English abstract).
- Liu Guangding. 1997. Preliminary discussion on residual basins. Petroleum Explorationist, 2(3): 1~4, 45 (in Chinese with Eng-

- lish abstract).
- Luo Huaizhang, Qi Jingwen, Yang Ziling. 1991. Bitumen and oil source correlation of Anran reefs in Nanpan river depression. *Journal of Southwestern Petroleum Institute*, 13(4):21~30 (in Chinese with English abstract).
- Luo Qihou, Wang Shiqian. 1996. Research on natural gas enrichment conditions of the main coal-bearing strata of Triassic in the central-west part of Sichuan basin. *Natural Gas Industry*, 16(sup.):40~54 (in Chinese with English abstract).
- Luo Xiaoquan, Guo Dongxiao. 1997. A discussion on reservoir-forming conditions of Jurassic secondary gas reservoirs in Xiaoquan—Xinchang gas field in west Sichuan. *Natural Gas Industry*, 17(3):74~75 (in Chinese with English abstract).
- Magoon L B, Dow W G. 1994. The petroleum system: from source to trap. *AAPG Memoir* 60.
- Qi Houfa, Kong Zhiping. 1992. Analysis of forming & enrichment conditions of large gas fields in China. *Study of natural gas geology*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 8~14 (in Chinese).
- Qin Jianzhong, Guo Shuzhi, Wang Dongliang. 1991. Geochemical characteristics of Suqiao coal-formed gas field and their contrast. *Natural Gas Industry*, 11(5):21~26 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Yunyu, Xu Lian, Huang Hualiang. 1994. Preliminary discussion on pool-formed patterns in Weiyuan gas field. *Natural Gas Industry*, 14(1):9~13 (in Chinese with English abstract).
- Ran Hong. 1994. Discussion on the types of gas packing density and control factors in Chuandong Carboniferous reservoirs. *Natural Gas Industry*, 14(5):34~37 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yanmin, Yu Junli, Liao Qianjin, et al. 1998. A study on geochemistry of hydrocarbons and their sources in Kongxi area of Huanghua depression. *Acta Petrolei Sinica*, 19(2):5~11 (in Chinese with English abstract).
- Song Wenhai. 1996. Research on reservoir-formed conditions of large-medium gas fields of Leshan—Longnusi palaeohigh. *Natural Gas Industry*, 16(sup.):13~26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Bijun, Bao Ci, Xiao Minde, et al. 1989. *Petroleum geology of China (Vol. 10) Sichuan oil & gas field*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 111~151 (in Chinese).
- Wang Yingmin, Qian Yizhong. 1996. Characteristics of residual basin and the developing trend of its petroleum resource assessment. *Marine Origin Petroleum Geology*, 1(1):48~51 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaoyun, Chen Keming, Yang Ciyang, et al. 1997. Early Palaeozoic primary oil of Kongxi buried hill in Huanghua depression, Huabei, China. *Petroleum Exploration and Development*, 24(3):1~4 (in Chinese with English abstract).
- Wu Weiwen. 1989. The formation and destruction of palaeo-oil-reservoirs in the east of Guizhou Province. *Geology of Guizhou*, 18(1):9~22 (in Chinese with English abstract).
- Xie Qiuyuan. 1993. Prototype & superposition of basin and distribution of petroleum. In: Sun Zhaocai, et al., ed. *Petroleum-bearing basin analysis in China—proseminar collection of Mr. Zhu Xia's academic thoughts*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 128~135 (in Chinese).
- Xu Keding, Jin Meicun, Zhou Guangrong. 1993. Forming conditions and evolution characteristics of fossil pools in western Zhejiang Province. In: Shi Baoheng, et al., ed. *Marine geology and petroleum of Yangtze area*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 277~285 (in Chinese).
- Chen Wenzheng. 1992. Discussing again on the source of Sinian gas pool in Weiyuan gas field in Sichuan basin. *Natural Gas Industry*, 12(6):28~32 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wang, Yao Huijun. 1993. Superposition basin and its petroleum-bearing. In: Sun Zhaocai, et al., ed. *Petroleum-bearing basin analysis in China—proseminar collection of Mr. Zhu Xia's academic thoughts*. Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 32~46 (in Chinese).
- Xu Huazheng, Qiao Zhiqing, Zhang Yaming. 1994. Discovery and significance of Wenbei—Hubuzhai gas field. *Natural Gas Industry*, 14(3):11~15 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yuancong, Wang Tingdong, You Li, et al. 1989. The genesis of oil and gas of the Upper Permian Changxing Group, Sichuan Province. *Petroleum Exploration and Development*, 16(3):32~41 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jiahua. 1993. Distinguishing criteria of relict basin and their significance in petroleum geology. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 18(6):735~740 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kang. 1999. Reformation basin and natural gas exploration. *Natural Gas Industry*, 19(3):1~6 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jiawei. 1985. The genesis and coal-formed gas resource prediction of Wenliu gas field in Dongpu depression, Henan Province. *Oil-gas Fields Geology of Central China*, (2):45~57 (in Chinese).

Methods for the Study of the Petroleum System in Remnant Basins

— A Case Study of Mesozoic and Paleozoic Marine Strata in Southern China

ZHAO Zongju^{1,2)}, ZHU Yan¹⁾, YANG Shufeng¹⁾, WANG Genhai²⁾,
XU Yunjun²⁾, FENG Jialiang²⁾, DENG Hongying²⁾

1) *Department of Geoscience, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310027*

2) *Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou, Zhejiang, 310023*

Abstract

Through an integrated study of Mesozoic and Paleozoic petroleum geology in southern China and summing-up of the exploration results, the authors put forward a set of methods for the study of petroleum systems in reworked remnant basins or superposed basins. Its main concept is emphasizing the study of the "dynamic evolution" of petroleum systems. The spatio-temporal evolution, hydrocarbon-generating process and hydrocarbon-generating intensity and resource amount in different geological stages of chief hydrocarbon source rocks are deduced by performing 3-D basin modeling. The regularities of formation and destruction of oil-gas deposits are summarized by analyzing the old and existing oil-gas deposits. The migration and accumulation orientations are studied by the analysis of paleo-structures. The dynamic evolution of chief Mesozoic and Paleozoic petroleum systems in southern China during main tectonic movements is studied. The authors suggest that the realistic exploration targets of Mesozoic and Paleozoic petroleum systems in southern China are secondary petroleum systems and regenerated petroleum systems. As the existing primary petroleum systems are scarce, the authors suggest that the favorable perspective exploration areas of Mesozoic and Paleozoic petroleum systems in southern China are the high and steep anticlinal belt in the front of the Daba Mountains and on the western side of the Shizhu synclinorium, northeastern Sichuan, the Funin — Yancheng — Hai'an — Xinhua — Baoyin area in the Shubei basin, the Qianjiang — Xiantao — Paizhou — well Chacan 1 area in the southern part of the Jianghan basin, the Poyang basin in southern Jiangxi and the northern depression of the Chuxiong basin in Yunnan. This view has been supported by the exploration of the Zhujiadun gas field in the Yancheng depression of the Shubei basin and the Kaixiantaixi oil-bearing structure in the southern part of the Jianghan basin.

Key words: remnant basin; superposed basin; petroleum system; marine strata; southern China