

doi:10.3799/dqkx.2012.00

# 多旋回叠合盆地烃流体源与构造变形响应： 以扬子地块中古生界海相为例

汤济广<sup>1,2</sup>,梅廉夫<sup>2,3</sup>,沈传波<sup>2,3</sup>,刘昭茜<sup>2,3</sup>

1. 长江大学地球科学学院,湖北荆州 434023

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074

3. 中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074

**摘要:** 多旋回叠合盆地的多旋回构造演化制约着盆地的成烃演化,使烃流体源显示多源化的特征,而构造变形对烃流体源的成烃制约主要是通过对地质体的埋藏作用来体现。基于扬子地块海相构造变形,将其分为断陷反转、断块反转、逆冲推覆和复合叠加等4类构造变形区带,并确立相应构造变形作用下中新生代海相地层构造—埋藏类型。通过烃流体源与地质体构造—埋藏类型对应关系的建立,认为下扬子与中扬子江汉断陷区的强烈暴露—断陷埋藏构造控制的烃流体源为残留烃流体源和二次生烃;中扬子湘鄂西和大洪山的强烈隆升—海相暴露变形区烃流体源为残留烃流体源;大巴山和龙门山前陆冲断带的晚期弱抬升—推覆埋藏构造控制的烃流体源为干酪根裂解气、油裂解气和残留烃流体源,而江南隆起北缘推覆带下地质体的强烈隆升—推覆埋藏致使烃流体源可能为干酪根裂解气和油裂解气;上扬子持续埋藏—晚期隆升区烃流体源为干酪根裂解气、油裂解气和沥青裂解气。

**关键词:** 烃流体源;构造变形;多旋回叠合盆地;海相地层;扬子地块;石油地质。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-09

收稿日期: 2011-09-23

## Response of Hydrocarbon Fluid Source to Tectonic Deformation in Multicycle Superimposed Basin: Example from Palaeozoic and Mesozoic Marine Strata in Yangtze Block

TANG Ji-guang<sup>1,2</sup>, MEI Lian-fu<sup>2,3</sup>, SHEN Chuan-bo<sup>2,3</sup>, LIU Zhao-qian<sup>2,3</sup>

1. Geosciences College, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Faculty of Earth Resource, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Multicycle tectonic evolution controls the hydrocarbon-generation evolution, and causes variegated genesis of hydrocarbon fluid source in the multicycle superimposed basin. The temperature is the essential factor to hydrocarbon-generation evolution, and it could be reflected by burial depth of geologic body, so the control of tectonic deformation on hydrocarbon-generation evolution of hydrocarbon fluid source is mainly displayed by the burial history of geologic body. According to the tectonic evolution characteristics, there are four kinds of different deformation in Yangtze block, such as inversion of fault depression, inversion of fault block, thrusting and composite superimpose, then, the four patterns of tectonic evolution-burial history are also established about the marine strata in Meso-Cenozoic. Based on the response of hydrocarbon fluid source to the type of tectonic evolution-burial history, the study indicates there are vestigial protogenic hydrocarbon and hydrocarbon generated secondly from kerogen in Lower Yangtze region and Jianghan fault depression of which tectonic evolution-burial history is consuming exposure-fault depression burial, and vestigial protogenic hydrocarbon in the Western Hunan-Hubei and Dahongshan area in Middle Yangtze region of which is consuming uplift-marine strata exposure, kerogen-cracking gas, oil-cracking gas and vestigial protogenic hydrocarbon in the thrust belts of Longmenshan and Dabashan of which is late low uplift-thrust burial, kerogen-

**基金项目:**国家科技重大专项研究项目(No. 2008ZX005004);国家自然科学基金项目(No. 41102091);中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室开放研究基金项目(Nos. TPR-2009-01, TPR-2010-25)。

**作者简介:**汤济广(1978—),男,副教授,博士,主要从事石油勘探构造分析与油气成藏的教学和研究。E-mail: cugtang@126.com

cracking gas and oil-cracking gas in the Northern Jiangnan uplift of which is consuming uplift-thrust burial, kerogen-cracking gas, oil-cracking gas and bitumen-cracking gas in Upper Yangtze region which the type of ones is durative burial-later uplift.

**Key words:** hydrocarbon fluid source; tectonic deformation; multicycle superimposed basin; marine strata; Yangtze block petroleum geology.

受小陆拼合、多旋回演化和强烈陆内构造变动为特征的中国大地构造演化所制约,中国盆地演化多表现为多旋回性(翟光明等,2002)。多期原型盆地结构上叠加,同时晚期构造运动改造早期地质体,使得盆地具复杂的结构构造特征,中国学者将该类盆地称为多旋回叠合盆地(何登发等,2005;庞雄奇等,2007;赵文智等,2007)。由于各成盆阶段构造应力环境和后期改造动力作用方式的差异性,多旋回叠合盆地具有多种叠合样式和多种改造形式(刘池洋和孙海山,1999;赵文智等,2003;金之钧,2005;徐旭辉等,2009)。相异的构造变动过程,促使了地质体的差异构造变形,造成了地层的复杂埋藏类型,即不同叠加改造型式造成了多旋回叠合盆地地质体复杂的构造—埋藏类型。

盆地的成烃演化直接受地质体构造—埋藏类型所制约,因而各类型多旋回叠合盆地的成烃演化表现出较大的差异性。勘探研究表明,以现今油气藏中的烃类为终极对象,多旋回叠合盆地中存在多种烃类来源(Xu et al., 2007; 徐思煌等,2007),而不仅仅只是直接来源于干酪根热降解,如油裂解气(马永生等,2005; 赵文智等,2005, 2006)、沥青裂解气(马永生等,2005; 赵文智等,2006)、二次生烃(陈安定等,2001)和多次运移(赵林等,2000)烃类等。因此多旋回叠合盆地成藏不是简单的“是否有充足的油气源”问题,更在于“有油还是气”或者说“什么性质的气或油”,即成藏烃源不仅仅是单一烃源岩评价的问题,而是复杂的成、排、聚过程。为表达烃源岩至成藏物质之间的复杂演化,针对多旋回叠合盆地提出烃流体源的概念,即聚集于圈闭中而成藏的烃类物质来源。烃流体源的初始物质基础为干酪根,但在聚集于现今圈闭的过程中,受多旋回构造演化作用,具有复杂的成烃演化、运移和聚集过程,即烃流体源受构造变形的制约。对烃流体源类型与构造变形关系的揭示,将在烃源岩与油气藏中建立一个桥梁,从而更好地指导多旋回叠合盆地的油气勘探。

等,2005;赵文智等,2005,2006)、沥青裂解气(马永生等,2005;赵文智等,2006)、二次生烃(陈安定等,2001)和多次运移(赵林等,2000)烃类等。因此多旋回叠合盆地成藏不是简单的“是否有充足的油气源”问题,更在于“有油还是气”或者说“什么性质的气或油”,即成藏烃源不仅仅是单一烃源岩评价的问题,而是复杂的成、排、聚过程。为表达烃源岩至成藏物质之间的复杂演化,针对多旋回叠合盆地提出烃流体源的概念,即聚集于圈闭中而成藏的烃类物质来源。烃流体源的初始物质基础为干酪根,但在聚集于现今圈闭的过程中,受多旋回构造演化作用,具有复杂的成烃演化、运移和聚集过程,即烃流体源受构造变形的制约。对烃流体源类型与构造变形关系的揭示,将在烃源岩与油气藏中建立一个桥梁,从而更好地指导多旋回叠合盆地的油气勘探。

## 1 扬子地块中新生代区域构造

区域上,扬子地块位于秦岭一大别—胶南一线以南、龙门山和三江造山带以东、江南隆起以北,中、

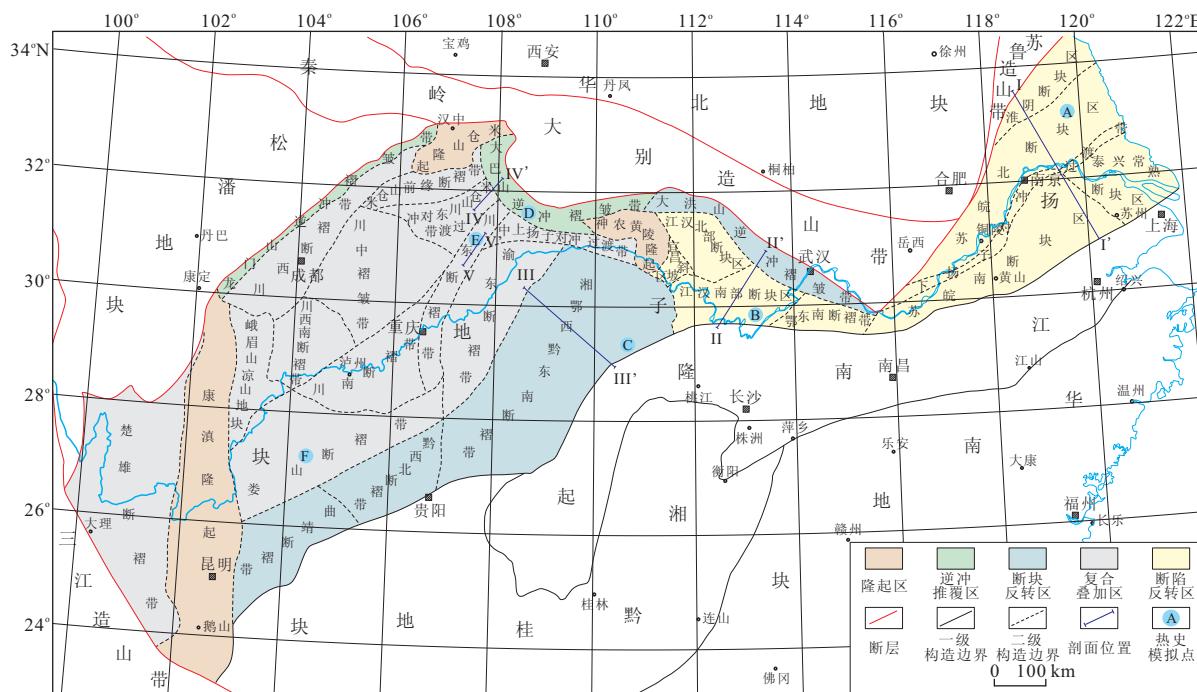


图 1 扬子地块差异构造形变区划与海相构造单元

Fig. 1 Differential tectonic deformation and structural area map for the marine strata in Yangtze block

古生界海相具有优越的先天成藏条件。中生代以来,受印支期、燕山期和喜马拉雅期构造运动作用,扬子地块中、古生界海相构造变形显示为多旋回叠加改造的特征。受控于不同的构造体系域以及作用边界,扬子地块中、新生代多体制和多旋回构造在空间上表现为横向多作用边界相互制约、地块内部构造交接的区域性变异的复杂格局、纵向不同构造层和滑脱转换层的分层响应,特别是壳内体系的相互作用形成的多层次性的构造特征、以及陆内构造的分异格局。时间上表现为既有同一期构造发展上的连续递进和复合联合,更有不同期构造的深刻转型(反转)导致不同性质构造的复杂叠加。因此,印支期以来的多旋回演化使得扬子地块发生相异的构造变形,中、古生界海相地层产生复杂且多样的构造—埋藏类型(图1)。

## 2 烃流体源

以现今油气藏的烃类物质直接来源而言,烃类从烃源岩到油气藏存在两种途径:直接和间接,其中直接烃流体源的运移过程为烃源岩→圈闭,而间接烃流体源为烃源岩→圈闭→圈闭等一系列过程,这相异的从烃源岩至圈闭的烃类运移聚集过程为多旋回差异构造变形的结果(图2)。

### 2.1 烃流体源类型

差异构造变形直接制约着烃源岩的热演化史(Mei et al., 2007)。在多旋回构造变动之下,烃类的演化不再完全遵循 Tissot 模式,其来源表现为多源化的特征:原生烃流体源(干酪根降解与裂解烃类)、油裂解气、二次生烃、沥青裂解气、次生烃流体源和残留烃流体源等。扬子地块海相中、古生界烃源岩时代老、埋藏深,有机质热演化程度高,受控于印支期以来的多旋回差异构造变形,烃流体源表现为多期、多源生烃特征(马力等,2004)。

### 2.2 直接烃流体源

直接烃流体源包括原生烃流体源、二次生烃和残留烃流体源,均为从烃源岩热演化生烃而直接进入圈闭聚集成藏的烃源。

(1)原生烃流体源。烃源岩现今处于成熟或以上阶段,所生产的烃类通过输导体系直接进入圈闭而成藏。对于扬子地块海相而言,烃源岩多处于高成熟或过成熟阶段,主要产物为气态烃,如川东南官渡气藏中部分烃类来自二叠系烃源岩,川东北普光气藏部分气源为志留系和二叠系的热裂解气;(2)二次生

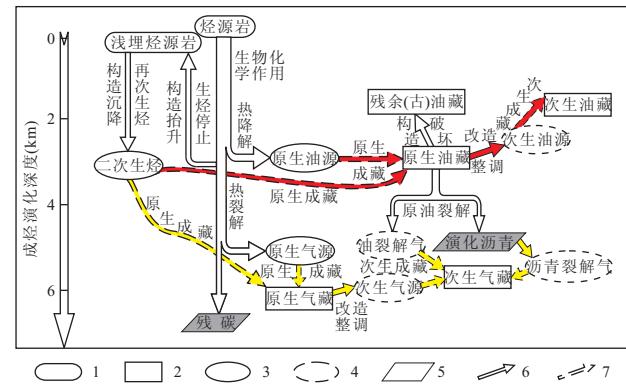


图2 多旋回叠合盆地烃流体源演化关系

Fig. 2 Evolution of hydrocarbon fluid sources in multicycle superimposed basin

1. 烃源岩;2. 油气藏;3. 直接烃流体源;4. 间接烃流体源;5. 沥青、残炭;6. 成烃演化;7. 油气聚集

烃。二次生烃是指烃源岩在受热温度降低导致一次生烃历程被终止之后,当受热温度再次增高并达到有机质再次活化所需的临界动力学条件时,烃源岩发生的再次生烃演化(解启来等,2004;朱炎铭等,2004)。二次生烃对于烃源岩层位和再次生烃的时间均具有特定意义,而这一特定再次生烃时间为促使烃源岩再次迅速埋深的构造变形时间,如下扬子朱家墩气藏的二次生烃为二叠系烃源岩在晚燕山—早喜马拉雅期的再次生烃(陈安定等,2001);(3)残留烃流体源。受晚期构造作用,早期油气藏被调整改造,或者被破坏,但是在局部保存条件较好的地方,会有部分烃类残留下来,从而成为残留油气藏,该类油气藏的烃类直接来自于干酪根热降解和热裂解,如句容油藏(刘东鹰和王军,2004)。

### 2.3 间接烃流体源

间接烃流体源包括油裂解气、沥青裂解气、次生烃流体源,均为初始烃类物质从干酪根热演化排出后,再进入现今的油气藏过程中,还存在复杂的运移和演化过程。

(1)油裂解气。原油在高温环境下不稳定,当温度超过 170 °C 以后,原油将发生热裂解形成天然气,油藏中的气/油比明显上升。在储层温度高于 215 °C 以后,天然气就全部取代石油(Schenk et al., 1997)。南方中、古生界海相碳酸盐岩位于叠合沉积盆地的最底层,时代老、埋藏受热历史长、热演化程度高,易发生早期成藏(油藏)。古油藏完成一次相对富集的分散烃类的温度在进入原油裂解温度范围后,极易发生热裂解生气,形成天然气气源。该类气源是中国南方中、古生界的主要气源(马永生等,2005);(2)储层沥

青裂解气。在高温作用下,岩层中储层沥青可裂解生气(郑伦举等,2008)。根据王云鹏等(2004)对准噶尔盆地西北缘乌尔河地区下二叠统的储层沥青生气分析:沥青的等效镜质体反射率为0.68%,从300~520℃整个过程的累积产气( $C_{1-5}$ )率为514.55 mL/g,  $C_1H_4$ 产率为442.26 mL/g。因此储层沥青可以作为一种有效的气源岩,对天然气的成藏作出贡献;(3)次生烃流体源。受新构造运动作用,中国的油气藏多具晚期成藏的特征,而这些晚期成藏的油气藏中烃类多来自于早期油气藏,即新构造运动对早期的油气藏进行调整改造,使得早期油气藏中的烃类再次进入一个新的圈闭从而聚集成藏。因此,次生烃流体源具有干酪根→圈闭(早期原生油气藏)→……→圈闭(现今油气藏)的演化过程。

### 3 扬子地块海相差异构造—埋藏类型

受控于不同的构造体系域以及作用边界的差

异,扬子地块中、古生界海相在中、新生代发生差异构造变形,进而导致差异的埋藏过程,即不同构造形变区具差异构造—埋藏方式。

#### 3.1 差异构造变形

随着印支期周缘板块的拼合,扬子地块中、古生界海相进入了中、新生代构造改造阶段。由于构造体系域和边界条件的差异,上扬子区与中、下扬子区晚燕山—早喜马拉雅期构造变形性质发生分异。上扬子区印支期以来持续处于挤压变形环境中,而中、下扬子区在晚三叠世至早白垩世遭受挤压变形,而晚燕山期则发生构造负反转。因此,以晚燕山期—早喜马拉雅期为关键构造变革期,根据晚燕山期之前和之后海相中、古生界整体构造叠加改造格局,扬子地块可以划分为4种构造变形类型:断陷反转、断块反转、逆冲推覆和复合叠加(图3)。

断陷反转变形区主要为下扬子区和中扬子陆相覆盖区,印支期以来经历过复杂的构造演化和多次构造反转,其中以晚燕山—早喜马拉雅期的构造负

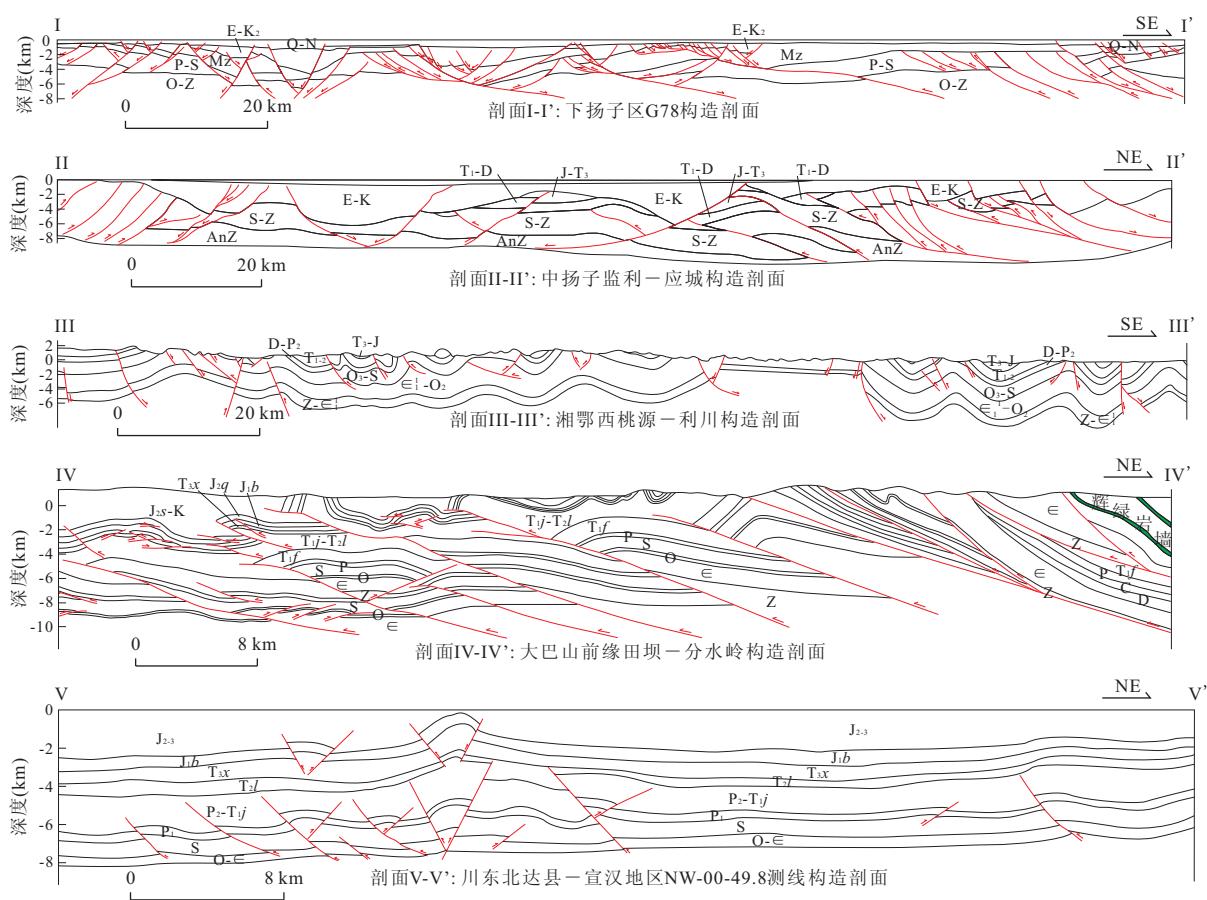


图3 扬子地块典型构造变形地质剖面(剖面位置见图1)

Fig. 3 Type geologic section of tectonic deformation in Yangtze block

剖面I-I'. 断陷反转变形; 剖面II-II'. 断陷反转变形; 剖面III-III'. 断块反转变形; 剖面IV-IV'. 逆冲推覆变形; 剖面V-V'. 复合叠加变形

反转为关键构造变革期。晚燕山期之前,中下扬子区处于挤压应力场之中,地层整体抬升,海相地层强烈暴露,晚燕山—早喜马拉雅期则发生构造负反转,整体处于伸展构造环境中,断陷作用强烈,使得海相地层被迅速埋藏。晚喜马拉雅期,中下扬子区虽然发生构造正反转,但主要变形为差异隆升,未发生显著的断褶作用。

断块反转变形区在印支—中燕山期处于压性构造作用阶段,构造作用表现为褶皱隆升,使得地层发生剥蚀,而晚燕山期—早喜马拉雅期受伸展作用控制,但伸展作用较弱,仅造成一些小型断块的发育,未发生断陷。该类变形主要分布于湘鄂西地区和中扬子北缘大洪山地区。

逆冲推覆变形区分布于扬子地块的南北缘以及西缘,主要为江南隆起北缘、扬子地块北缘西段的大巴山前陆冲断带和扬子地块西缘的龙门山前陆冲断

带。印支期以来的多期陆内造山作用,使得山前发生多次推覆作用,形成了特殊的陆内前陆冲断带,但整体推覆距离远较经典陆缘前陆冲断带小,如江南雪峰造山带的推覆距离不超过 70 km (Yan et al., 2003; 梅廉夫等, 2010)。

复合叠加构造变形区在印支期以来区域构造环境未发生转变,晚燕山期前后构造变形性质类似,发生同种构造方式的叠加。扬子地块齐岳山断裂以西,即上扬子地区,印支期以来,在雪峰山、大巴山、米仓山和龙门山等构造系的联合作用下,继承性的挤压作用持续发展,不同构造体系相互复合,且后期构造运动对早期的构造主要起调整及叠加作用。

### 3.2 差异构造—埋藏方式

差异构造作用控制着地块结构和变形的差异,进而制约着地层的沉降与隆升。受构造变形制约,扬子地块海相地层中新生代存在四种构造—埋藏方

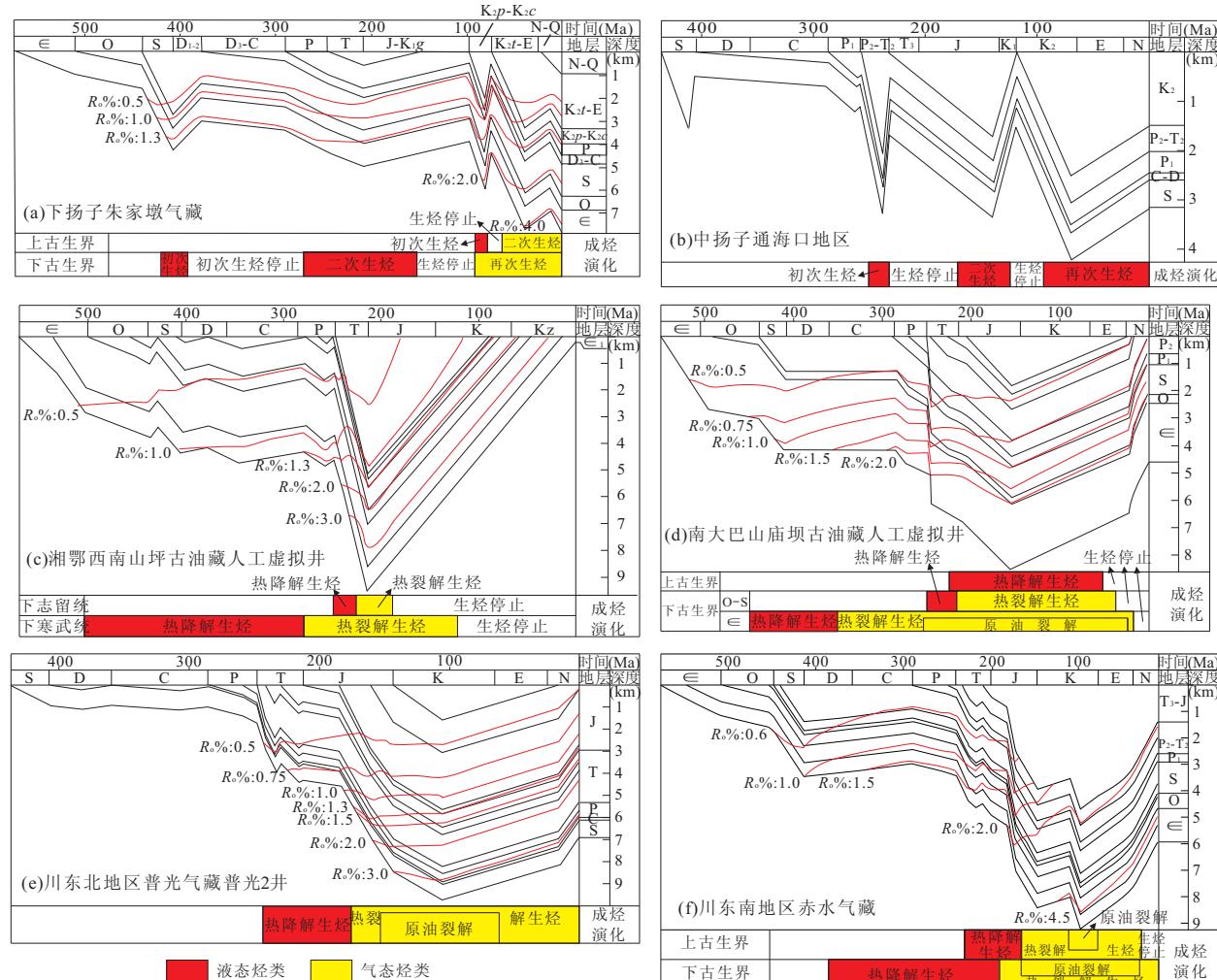


图 4 扬子地块典型埋藏史和热史图(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Type burial history and thermal history in Yangtze block

式: 强烈暴露—断陷埋藏、强烈隆升—海相暴露、差异隆升—推覆埋藏、持续埋藏—晚期隆升(图 4)。

受断陷反转构造变形作用, 下扬子区和中扬子陆相覆盖区海相地层中新生代构造—埋藏方式为强烈暴露—断陷埋藏, 其中强烈暴露指中燕山期(晚侏罗世—早白垩世)海相地层暴露, 而断陷埋藏则为晚燕山—早喜马拉雅期的断陷作用促使了海相地层的深埋。受板块拼合和陆内造山作用, 中下扬子地区印支期—早燕山期处于挤压应力场之中, 且早燕山期地层开始整体抬升, 使得下扬子以及中扬子大部地区陆相地层被剥蚀殆尽, 至中燕山期海相地层长期强烈暴露。晚燕山期—早喜马拉雅期, 发生构造负反转, 中下扬子地区整体处于伸展断陷阶段, 海相地层被迅速深埋(图 4a 和 4b)。

对于断块反转的构造变形, 中扬子湘鄂西和大洪山地区海相地层中新生代构造—埋藏方式为强烈隆升—海相暴露。早燕山期(早中侏罗世)以来, 该形变区持续处于隆升剥蚀状态, 上古生界多被剥蚀殆尽, 下古生界普遍暴露。如湘鄂西地区志留系均遭受不同程度的剥蚀, 甚至部分地区寒武系直接暴露(图 4c)。

逆冲推覆变形区海相地层构造—埋藏方式为差异隆升—推覆埋藏, 受控于变形程度, 差异隆升还可细分为强烈隆升和较弱抬升两种类型。受印支期江南雪峰造山带的陆内造山作用, 江南隆起北缘海相地层发生强烈隆升, 且早燕山期开始发生逆冲推覆作用, 造成了原始山前海相地层被埋藏, 因此, 江南隆起北缘海相地层中新生代构造—埋藏方式为强烈隆升—推覆埋藏。龙门山和大巴山在发生大规模逆冲推覆前, 海相地层也经历了一定的隆升作用, 但是隆升剥蚀作用较弱, 因此构造—埋藏方式为晚期弱隆升—推覆埋藏(图 4d)。

响应于构造的复合叠加, 持续埋藏—晚期隆升型海相地层埋藏模式主要存在于上扬子地区, 其中晚期指晚燕山期及以后时期。晚燕山期之前, 受周缘造山带造山作用, 上扬子周缘前陆盆地发育, 使得海

相地层整体持续深埋。晚燕山期以来, 上扬子周缘发生强烈的断裂褶皱作用, 整体发生隆升剥蚀, 但是隆升只造成四川盆地内中生界陆相地层的不同程度被剥蚀, 大部依然为下白垩统和侏罗系所覆盖, 海相地层未暴露, 而上扬子周缘地区隆升剥蚀程度较高, 陆相地层被剥蚀殆尽, 海相地层出露(图 4e 和 4f)。

## 4 构造变形对烃流体源的制约

成烃演化的关键是温度, 而温度在地质体中的体现主要是埋深。由于构造作用直接控制着地层沉降与隆升, 进而制约着成烃演化, 因此不同的构造—埋藏方式导致了差异的成烃演化过程和烃流体源类型(表 1)。

### 4.1 强烈暴露—断陷埋藏区烃流体源

强烈暴露—断陷埋藏区印支期—早燕山期海相烃源岩处于热降解和热裂解阶段, 烃类聚集成藏, 而中燕山期的隆升作用, 造成了海相地层的强烈暴露, 致使早期生烃停止。但晚燕山期—早喜马拉雅期的断陷作用促使海相地层再次埋深, 使停止生烃的海相烃源岩再次进入生烃门限而“二次生烃”。由于“二次生烃”的关键是晚期深埋, 因此, 二次生烃的时间具有特定意义, 即断陷反转期。晚燕山期—早喜马拉雅期的伸展作用还使得中古生界海相整体处于开放环境, 地表水下渗造成早期古油藏的破坏, 但在封闭条件较好环境中, 原生油藏可以部分被保存下来, 如句容油藏(刘东鹰和王军, 2004)。因此, 下扬子区和中扬子陆相覆盖区烃流体源类型为二次生烃和残留烃流体源。

### 4.2 强烈隆升—海相暴露区烃流体源

强烈隆升—海相暴露的构造—埋藏类型主要分布于中扬子湘鄂西和大洪山地区。中生代以来, 湘鄂西和大洪山地区所经历的构造演化过程与江汉断陷区相似, 但是燕山晚期—喜山早期的伸展作用较弱, 以断块作用为主, 海相地层未发生深埋, 不具备二次

表 1 扬子地块海相烃流体源与中新生代构造变形单元关系

Table 1 Response of hydrocarbon fluid source from Marine Strata to Meso-Cenozoic tectonic deformation in Yangtze block

构造变形	构造—埋藏方式	成烃演化	烃流体源	地区
复合叠加	持续埋藏—晚期隆升	干酪根→油→气	干酪根裂解气、油裂解气、沥青裂解气	上扬子
断陷反转	强烈暴露—断陷埋藏	初次生烃→生烃中止→二次生烃	残留烃流体源、二次生烃	下扬子、江汉盆地
断块反转	强烈隆升—海相暴露	干酪根→原生烃源→残存原生烃源	残留烃流体源	湘鄂西、大洪山地区
逆冲推覆	强烈隆升—推覆埋藏 晚期弱抬升—推覆埋藏	干酪根→油→气; 干酪根→油 干酪根→油→气; 干酪根→油	残留烃流体源、干酪根裂解气、油裂解气、沥青裂解气 残留烃流体源、干酪根裂解气、油裂解气、沥青裂解气	江南隆起 南大巴山前缘

生烃条件,主要烃流体源为受构造作用所改造的残留烃流体源,且以来源于下古生界烃源岩的气态烃为主。

#### 4.3 强烈隆升—推覆埋藏区烃流体源

江南隆起北缘海相地层的构造—埋藏类型为强烈隆升—推覆埋藏。在该构造形变区中,下古生界的烃源多在印支期或之前均进入了生油高峰期,由于印支期的推覆作用,推覆体之下的地质体保存较完善,烃源岩应具有很高的成熟度,同时早期的原油可能发生裂解,因此推覆体之下地层烃流体源为干酪根裂解气和油裂解气。

#### 4.4 晚期弱抬升—推覆埋藏区烃流体源

上扬子区大巴山和龙门山前陆冲断带的推覆体之下海相地层中新生代构造—埋藏类型为晚期弱抬升—推覆埋藏,其中推覆作用发生于中燕山期—喜马拉雅期。印支期及早燕山期,大巴山和龙门山山前海相烃源岩均进入了生烃高峰期,形成了原生烃流体源。而随着中燕山期的逆冲推覆作用,推覆体下盘海相地层被深埋,原油发生裂解,形成油裂解气,且烃源岩亦进入热裂解阶段。推覆体之上的地质体受中燕山期以来构造作用的改造和热力作用,早期原生油气藏被改造破坏,残留烃源可能得以保存,如大巴山前陆冲断带万源市白果乡油苗。因此,晚期弱抬升—推覆埋藏区的烃流体源类型主要为油裂解气和干酪根裂解气,同时还可能存在残留烃流体源。

#### 4.5 持续埋藏—晚期隆升区烃流体源

持续埋藏—晚期隆升的构造—埋藏方式主要存在于上扬子区。由于上扬子区构造动力学性质单一,挤压构造持续叠加发展,海相地层内部的整体封闭体系保存较好,因而印支期—早燕山期所形成的古油藏在随后时间内逐步埋深,至中燕山期—早喜马拉雅期温度升高至原油裂解温度后而裂解成气态烃类。如普光2井热模拟显示,晚侏罗纪原油开始发生裂解,至早白垩世晚期,二叠系油藏埋藏温度超过215℃,原油发生了完全裂解。喜马拉雅期,尤其是晚喜马拉雅期,虽然上扬子区发生大规模隆升,但是海相烃源岩依然处于热裂解阶段。因此,上扬子区海相地层存在干酪根裂解气和油裂解气两种重要的气态烃源,而以油裂解气最重要,同时还存在沥青裂解气(图2)。

## 5 结论

(1)在多旋回构造变动之下,成烃演化不再完全遵循Tissot模式,表现为多源化的特征。依据烃类

从烃源岩到现今油气藏的途径,可分为直接烃流体源和间接烃流体源,其中直接烃流体源的运移过程为烃源岩→圈闭,包括原生烃流体源、二次生烃烃源和残留烃流体源;间接烃流体源的运移则经历烃源岩→圈闭→……→圈闭等一系列过程,包括油裂解气、沥青裂解气和次生烃流体源等。

(2)多旋回叠合盆地烃流体源与构造变形相响应。扬子地块中古生界海相中上扬子区海相地层具持续埋藏—晚期隆升特征,烃流体源为干酪根裂解气、油裂解气和沥青裂解气;下扬子区和中扬子陆相覆盖区海相地层经历过强烈暴露—断陷埋藏过程,烃流体源为残留烃流体源和二次生烃;中扬子湘鄂西和大洪山地区构造—埋藏方式为强烈隆升—海相暴露,烃流体源仅为残留烃流体源;受逆冲推覆作用,扬子地块北缘大巴山和西缘龙门山冲断带推覆体下的海相经历晚期弱抬升—推覆埋藏过程,烃流体源为干酪根裂解气、油裂解气和残留烃流体源,而江南隆起北缘推覆体下地质体的强烈隆升—推覆埋藏致使烃流体源可能为干酪根裂解气和油裂解气。

(3)多旋回叠合盆地中存在多种烃流体源,受构造变形所制约,具复杂的成烃演化和运移过程,因此,对多旋回叠合盆地的成藏评价应重视烃源岩,但不唯烃源岩。成藏烃源为直接烃流体源变形区,油气藏的分布依然遵循“源控论”,而烃源为间接烃流体源变形区,烃源岩评价仅具间接意义,成藏主控因素为烃类间接转化源。

## References

- Chen, A. D., Wang, W. J., Yue, K. J., et al., 2001. Gas source of Zhuijiadun gas field, Yancheng basin and its discovery significance. *Petroleum Exploration and Development*, 28(6): 45—49 (in Chinese with English abstract).
- He, D. F., Jia, C. Z., Li, D. S., et al., 2005. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim basin. *Oil & Gas Geology*, 26(1): 64—77 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. J., 2005. New advancement in research of China's typical super imposed basins and reservoirs (Part I): classification and research methods of superimposed basins. *Oil & Gas Geology*, 26(5): 553—562 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. Y., Sun, H. S., 1999. Classification of reformed basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 20(2): 79—82 (in Chinese with English abstract).

- Liu, D. Y., Wang, J., 2004. Analysis of reservoir properties of Jurong area of lower Yangtze. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 26(3): 48—49 (in Chinese with English abstract).
- Ma, L., Chen, H. J., Gan, K. W., et al., 2004. Geotectonics and marine petroleum geology in the South China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Ma, Y. S., Guo, X. S., Guo, T. L., et al., 2005. Discovery of the large-scale Puguang gas field in the Sichuan basin and its enlightenment for hydrocarbon prospecting. *Geological Review*, 51(4): 477—480 (in Chinese with English abstract).
- Mei, L. F., Guo, T. L., Shen, C. B., et al., 2007. Tectonic-hydrocarbon accumulation cycles of marine strata in polycyclic superimposed and reconstructed basin in Southern China. *Journal of China University of Geosciences*, 18(Suppl.): 538—539.
- Mei, L. F., Liu, Z. Q., Tang, J. G., et al., 2010. Mesozoic intra-continental progressive deformation in western Hunan-Hubei-eastern Sichuan Provinces of China: evidence from apatite fission track and balanced cross-section. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(2): 161—174 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X. Q., Luo, X. R., Jiang, Z. X., et al., 2007. Advancements and problems on hydrocarbon accumulation research of complicated super imposed basins in western China. *Advances in Earth Science*, 22(9): 879—886 (in Chinese with English abstract).
- Schenk, H. J., Primio, R. D., Horsfield, B., 1997. The conversion of oil into gas in petroleum reservoirs. Part 1: Comparative kinetic investigation of gas generation from crude oils of lacustrine, marine and fluviodeltaic origin by programmed-temperature closed-system pyrolysis. *Org. Geochem.*, 26(7—8): 467—481. doi: 10. 1016/S0146-6380(97)00024-7
- Wang, Y. P., Deng, A. S., Liu, D. H., et al., 2004. Gas generation experimental research of shales, coal, bitumen and oil. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(Suppl.): 106—110 (in Chinese with English abstract).
- Xie, Q. L., Zhou, Z. Y., Shi, J. X., et al., 2004. Classification and characteristics of hydrocarbon regeneration from the Lower Palaeozoic group in the Tazhong area of Tarim basin. *Geological Review*, 51(4): 477—480 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S. H., Mei, L. F., Yuan, C. P., et al., 2007. Types, evolution and pool-controlling significance of pool fluid sources in superimposed basins: a case study from Paleozoic and Mesozoic in South China. *Journal of China University of Geosciences*, 18(1): 49—59. doi: 10. 1016/S1002-0705(07)60018-1
- Xu, S. H., Yuan, C. P., Mei, L. F., et al., 2007. Types, evolution and pool-controlling significance of pool fluid sources in superimposed basins: a case study from Palaeozoic and Mesozoic marine strata in South China. *Geological Science and Technology Information*, 26(2): 59—64 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X. H., Gao, C. L., Jiang, X. G., et al., 2009. Dynamic analysis for Chinese petroleum basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2003. Origin and tectonic significance of a Mesozoic multi-layer over-thrust system within the Yangtze block (South China). *Tectonophysics*, 361(3—4): 239—254. doi: 10. 1016/S0040-1951(02)00646-7
- Zhai, G. M., Song, J. G., Jin, J. Q., et al., 2002. Plate tectonic evolution and its relationship to petroliferous basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, L., Hong, F., Dai, J. X., et al., 2000. The source of natural gas in Nanbaxian gas field of the Qaidam basin and its exploration significance. *Petroleum Exploration and Development*, 27(3): 25—30 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. Z., Wang, Z. C., Zhang, S. C., et al., 2007. Analysis on forming conditions of deep marine reservoirs and their concentration belts in superimposed basins in China. *Chinese Science Bulletin*, 52(Suppl. 1): 9—18 (in Chinese).
- Zhao, W. Z., Wang, Z. Y., He, H. Q., et al., 2005. Gas generating mechanism of marine carbonatite in China. *Science in China (Ser. D)*, 35(7): 638—648 (in Chinese).
- Zhao, W. Z., Wang, Z. Y., Zhang, S. C., et al., 2006. Oil cracking: An important way for highly efficient generation of gas from marine source rock. *Chinese Science Bulletin*, 51(5): 589—595 (in Chinese).
- Zhao, W. Z., Zhang, G. Y., Wang, H. J., et al., 2003. Basic features of petroleum geology in the superimposed petroliferous basins of China and their research methodologies. *Petroleum Exploration and Development*, 30(2): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, L. J., Qin, J. Z., Zhang, Q., et al., 2008. Gas-generation potentiality of various marine crude oil and bitumen in China. *Acta Geologica Sinica*, 82(3): 360—365 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y. M., Qin, Y., Fan, B. H., et al., 2004. Evaluation of the second hydrocarbon-generation of the Permo-Car-

boniferous source rocks in Wuqing depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(1):77—83 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

陈安定,王文军,岳克功,等,2001.盐城朱家墩气田气源及发现意义.石油勘探与开发,28(6):45—49.

何登发,贾承造,李德生,等,2005.塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化.石油与天然气地质,26(1):64—77.

金之钧,2005.中国典型叠合盆地及其油气成藏研究新进展(之一)——叠合盆地划分与研究方法.石油与天然气地质,26(5):553—562.

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.

刘东鹰,王军,2004.下扬子句容地区油藏特征分析.江汉石油学院学报,26(3):48—49.

马力,陈焕疆,甘克文,等,2004.中国南方大地构造和海相油气地质.北京:地质出版社.

马永生,郭旭升,郭彤楼,等,2005.四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示.地质论评,51(4):477—480.

梅廉夫,刘昭茜,汤济广,等,2010.湘鄂西—川东中生代陆内递进扩展变形:来自裂变径迹和平衡剖面的证据.地球科学——中国地质大学学报,35(2):161—174.

庞雄奇,罗晓容,姜振学,等,2007.中国西部复杂叠合盆地油气成藏研究进展与问题.地球科学进展,22(9):879—886.

王云鹏,耿安松,刘德汉,等,2004.页岩、煤、沥青和原油的生气实验研究.沉积学报,22(增刊):106—110.

解启来,周中毅,施继锡,等,2004.塔里木盆地塔中地区下古生界二次生烃的类型及其特征.地质论评,50(4):377—383.

徐思煌,袁彩萍,梅廉夫,等,2007.叠合盆地成藏流体源类型、演化及控藏意义——以中国南方中、古生界海相地层为例.地质科技情报,26(2):59—64.

徐旭辉,高长林,江兴歌,等,2009.中国含油气盆地动态分析概论.北京:石油工业出版社.

翟光明,宋建国,靳久强,等,2002.板块构造演化与含油气盆地形成和评价.北京:石油工业出版社.

赵林,洪峰,戴金星,等,2000.柴达木盆地南八仙气田气源及其勘探意义.石油勘探与开发,27(3):25—30.

赵文智,汪泽成,张水昌,等,2007.中国叠合盆地深层海相油气成藏条件与富集区带.科学通报,52(增刊Ⅰ):9—18.

赵文智,王兆云,何海清,等,2005.中国海相碳酸盐岩烃源岩成气机理.中国科学(D辑),35(7):638—648.

赵文智,王兆云,张水昌,等,2006.油裂解生气是海相气源灶高效成气的重要途径.科学通报,51(5):589—595.

赵文智,张光亚,王红军,等,2003.中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法.石油勘探与开发,30(2):1—8.

郑伦举,秦建中,张渠,等,2008.中国海相不同类型原油与沥青生气潜力研究.地质学报,82(3):360—365.

朱炎铭,秦勇,范炳恒,等,2004.武清凹陷石炭一二叠系烃源岩的二次生烃评价.地球科学——中国地质大学学报,29(1):77—83.