

文章编号: 0253-9985(2004)03-0239-08

# 试论“盆”“山”耦合和脱耦研究的方法学

吴根耀<sup>1</sup>, 马力<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国石化江苏油田, 江苏扬州 225009)

**摘要:**“盆”“山”耦合和脱耦把造山作用和盆地发育当作一个整体来研究其统一的运动学过程和动力学机制, 必须有相应的方法论作保证。针对这一问题, 有3个方面需要讨论: 1) 空间关系上, 要在确定一个时间段的基础上正确划分“盆”“山”系统; 2) 两套分类体系并用, 在“正序”的研究和区域的研究中采用理性的系统分类, 在“反序”的和局部(主要指油气藏)的研究中以应用性的分类为主; 3) 以造山带和盆地研究近年里形成的成功方法为基础, 努力汲取各种新知识, 将思路、方法和技术手段三者有机地结合起来。“盆”“山”耦合和脱耦研究自身, 包括其方法学, 不断开拓新领域, 将可能成为中国大陆油气勘探新的理论指导。

**关键词:** 方法学; “盆”“山”耦合和脱耦; “盆”“山”系统; 分类体系; 新技术手段

中图分类号: P541

文献标识码: A

## Methodology of studying coupling and decoupling of “basin” and “range”

Wu Genyao<sup>1</sup> Ma Li<sup>2</sup>

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing; 2. Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu)

**Abstract:** Coupling and decoupling of “basin” and “range” is to study the uniform kinematic process and geodynamic mechanism of orogeny and basin development through viewing the two as a whole. It must be guaranteed by corresponding methodology. Three topics are discussed in this paper. (1) The “basin” and “range” system should be defined correctly on the basis of determining a certain time interval; (2) Two sets of classification systems should be used concurrently. Theoretical classification system is mainly used in “normal sequence” study and regional study, while practical classification system is mainly used in “reverse sequence” study and local (mainly refer to oil and gas reservoirs) study. (3) Thoughts, methods and technical means should be integrated together based on the successful study methods of orogenic belt and basin development in recent years. Coupling and decoupling of “basin” and “range” study, including its methodology, may provide new theoretical guidance for petroleum exploration in mainland China.

**Key words:** methodology; coupling and decoupling of “basin” and “range”; “basin” and “range” system; new technical means

“盆”“山”耦合和脱耦是盆地研究发育到一定阶段后, 在总结勘探实践中大量经验和教训的基础上, 中国地质学家立足于中国这块经多期造山作用拼合的复合大陆而提出的含油气盆地研究的新理论; 尤其对那些因理论指导的贫乏而油气勘探长期徘徊不前的地区, “盆”“山”耦合和脱耦研究将是一种有效的尝试甚至是全新的开拓<sup>[1,2]</sup>。其付诸实施或实现则必须有相应的方法论作保证, 故笔者在提出“盆”“山”耦合和脱耦是含油气盆地研究的新思路的同时即在构思和探讨其方法学<sup>[3]</sup>。近年来, 笔者等通过对南方大地构造的总

结和油气勘探实践的系统总结和反思<sup>[4,5]</sup>, 认真汲取他人的精辟见解<sup>[6,7]</sup>, 对“盆”“山”耦合和脱耦在盆地分析中的应用有了更深刻的理解<sup>[8]</sup>, 从而深化和拓宽了“盆”“山”耦合和脱耦的方法学。现不揣冒昧提出, 祈请各界专家斧正。限于篇幅, 本文只讨论划分“盆”“山”系统, 两套分类体系和汲取新技术新手段3个问题。

## 1 正确划分“盆”“山”系统

中国大陆上的“盆”“山”关系具多重性和复杂性<sup>[4]</sup>, 这是为其大地构造演化所决定的。就时间

第一作者简介: 吴根耀, 男, 57岁, 研究员, 大地构造学

收稿日期: 2004-04-01

序列言,盆地(可能部分也可能全体)后期会被卷入造山运动(包括陆内的造山运动)而闭合并遭受改造,之后再开始新一期的盆地发育。就空间位置言,内硅镁质的造山带常以千公里为长度数量级,因而其发育演化必然具空间的迁移性。中国大陆的另一特点是中-新生代陆内的(内硅铝质的)造山带较发育<sup>[9]</sup>,这类造山带常呈面状,因而模糊了面状的盆地和线形的造山带的绝然对立。要正确地进行“盆”“山”耦合和脱耦分析,首先要确定一个时间段,即给出时间约束。在一个特定的时间段里,可能俯冲型、碰撞型、剪切型和陆内的造山作用都在发生,且每一类造山作用可能还有不同的进程(如碰撞造山带,有的地段仍在碰撞,有前陆的、后陆的和山间的磨拉石盆地发育;有的地段已开始坍塌,有坍塌裂谷发育;还有的地段则处于强烈隆升中没有沉积记录),因而必须正确地识别这一时间段里的“盆”“山”系统,即:这个造山带的演化制约这(几)个盆地的发育(它们构成一个“盆”“山”系统),而那个造山带的演化控制那(几)个盆地的发育(它们构成另一个“盆”“山”系统)。只有这样才能正确分析“盆”“山”的耦合和脱耦关系,进而探讨造山成盆的动力学。当然,不排除这样的可能性:一个盆地的发育可能同时受几滚造山带演化的影响(不管其造山作用是否属同一动力学系统),或此一时以这个造山带演化的响应为主彼一时主要受那个造山带演化的影响。情况越复杂,则需要更精细和更精确的时间约束,也需要更深入更细致的工作。

秦岭-大别印支期造山带可提供一个造山作用明显具空间迁移性的实例<sup>[10~12]</sup>。该洋盆是“剪刀式”地自东向西闭合的,因而造山作用明显有东早西晚的特点(造山作用自东向西迁移)。作为碰撞的地质记录之一的磨拉石建造,在豫东皖西地区是早石炭世晚期的杨山组、晚石炭世的道人冲组和胡油坊组,在鄂西是晚三叠世早-中期(九里岗组)开始堆积磨拉石,而在川北则迟到晚三叠世中-晚期(须家河组)才有磨拉石发育。相应地,逆冲-推覆构造、岩浆活动等,该造山带内均有东早西晚之势。因而,在一个相对短的时间段内,同一造山带的不同地段可能处于造山过程中的不同阶段。晚三叠世时秦岭地区尚处于扬子与华北两大陆块的碰撞中;在大别地区,由于自石炭纪以来的持续俯冲而有超高压变质岩形成,且因造山带

的急剧坍塌而高压-超高压变质岩开始折返。

在限定一个时间段后,还可发现该造山带地区同一时间段内的盆地可能属于不同的成盆动力学系统。上述鄂西和川北的晚三叠世磨拉石都上延进侏罗纪早期,即:该地扬子与华北两大陆块印支期的碰撞延续进侏罗纪。大别山北麓的皖西豫南地区也有侏罗纪的磨拉石发育,但属另一造山事件的记录。早一中侏罗世时,因苏皖地块与拼合了的扬子-华北陆块(或称中国-东南亚次大陆)间的斜向会聚-剪切造山,在苏皖地块上发育了象山群磨拉石沉积。郟庐断裂带以西的大别造山带此时活化,扬子克拉通再度俯冲下插于华北克拉通之下<sup>[13]</sup>,印支期古缝合线活化引起陆内的造山作用<sup>[9]</sup>。无独有偶的是:大别地区的早燕山期陆内造山运动也有东早西晚的迁移趋势,故皖西的六安-肥西地区磨拉石记录为早侏罗世防虎山组、中侏罗世早期园洞山组和中侏罗世晚期周公山组,而其西的豫南地区相应的磨拉石建造为中侏罗世晚期朱集组和晚侏罗世段集组<sup>[10,14]</sup>。显然,秦岭地区与大别地区的侏罗纪早期磨拉石记录的是不同的造山作用,应分属两个不同的“盆”“山”系统。

笔者已著文论述了下列观点:1)叠合盆地的本质是“盆”“山”系统的更迭;2)在一个限定的时间段里,一个地区的构造演化主要受一个“盆”“山”系统控制,可能受另外一个或几个(次要的)“盆”“山”系统的影响;3)在一个相对粗略的时间框架内,一个地区可能有几个“盆”“山”系统起作用<sup>[8]</sup>。后者可以赣闽交界处的早白垩世演化为例说明。

该地早白垩世时至少存在两个构造线走向均为近北东向的“盆”“山”系统(图1)。一是东南沿海的斜交汇聚-剪切造山作用<sup>[15]</sup>,主要控制断裂是长乐-南澳断层,当时它表现为具斜冲性质的左行走滑。其东的平潭-东山变质带内的片麻状花岗岩 Th-U-全 Pb 等时线年龄为 92.7 Ma 和 94.4 Ma<sup>[16]</sup>,表明该断裂晚白垩世初仍有活动。李武显等<sup>[17]</sup>最近的研究进一步证实了距今 95 Ma 的热隆升事件。其西的丽水-政和-大埔断裂此时也有活动,与长乐-南澳断裂共同控制了东南沿海山系的形成。该山系(图1中的西界<sup>[18]</sup>)以西的早白垩世磨拉石以浙江的方岩组为代表。二是湘赣闽褶皱冲断系,属燕山期内硅镁质造山带内侧的内硅铝质的(陆内的)造山带,由3个冲断带组

成, 自东向西为闽西- 浙西南带(磨拉石建造期主要为晚侏罗世), 赣东带(磨拉石是晚侏罗世鹅湖岭组和早白垩世早期石溪组), 湘东赣西带(磨拉石时代为早白垩世, 可延到晚白垩世早期), 磨拉石的时代反映该褶皱冲断系早期的冲断作用是后展式地向西扩展的, 曾被称为早燕山运动; 晚期则自湘赣交界处前展式地向东扩展, 构造线方向偏转为北北东向, 曾被称为晚燕山运动<sup>[9, 19]</sup>。可以

看到: 赣东地区(或赣闽交界处)早白垩世时明显受到两个“盆”“山”系统的控制; 浙闽交界处晚侏罗世到白垩纪则发生“盆”“山”系统的更迭: 晚侏罗世以湘赣闽褶皱冲断系的早燕山运动为主, 早白垩世“让位”给东南沿海的斜交汇聚- 剪切造山作用(晚白垩世石帽山群沉积时该造山作用已经结束), 晚白垩世则以湘赣闽褶皱冲断系的晚燕山运动为主。

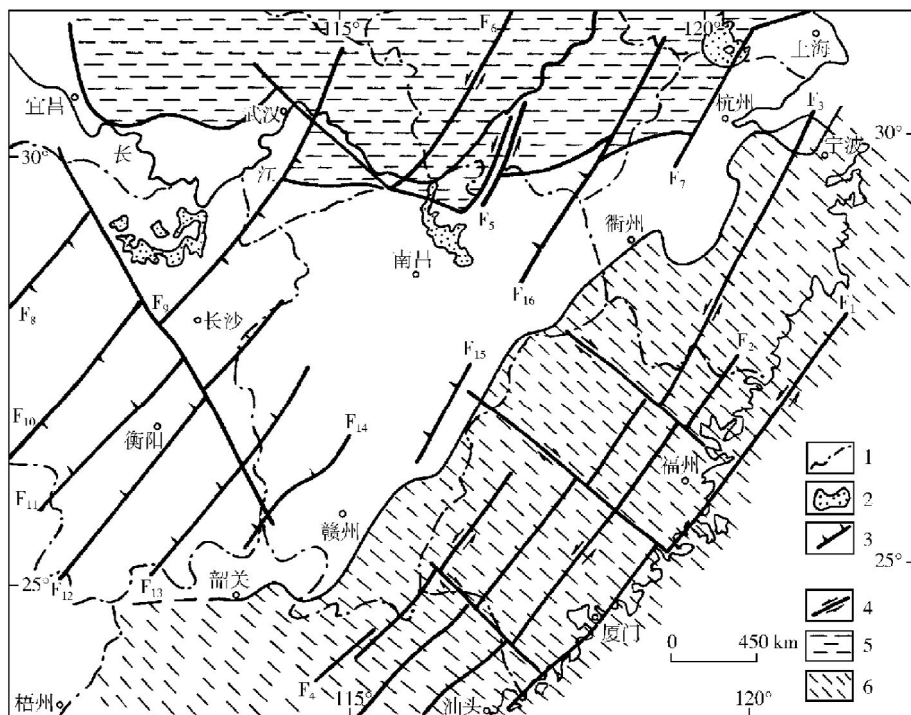


图1 中国东南部早白垩世的“盆”“山”系统

Fig. 1 Early Cretaceous "basin" and "range" system in southeastern China

1—省界; 2—湖泊; 3—冲断层; 4—剪切断层; 5—中国东部燕山期高原; 6—东南沿海山系; 属东南沿海山系的北东向断层: F<sub>1</sub>—长乐—南澳; F<sub>2</sub>—福安; F<sub>3</sub>—丽水—政和—大埔; F<sub>4</sub>—河源; 属中国东部燕山期高原的北东向断层: F<sub>5</sub>—长江剪切带; F<sub>6</sub>—鄱阳; F<sub>7</sub>—苏州—湖州; 主要属湘赣闽褶皱冲断系的北东向断层: F<sub>8</sub>—麻阳—沅陵; F<sub>9</sub>—团风—麻城; F<sub>10</sub>—城步—新化(入广西称寿城断层); F<sub>11</sub>—祁东—湘潭; F<sub>12</sub>—衡东—新田; F<sub>13</sub>—郴州—临武; F<sub>14</sub>—万安; F<sub>15</sub>—宁都; F<sub>16</sub>—赣东北

就内硅镁质的造山作用而言, 它常要经过洋壳消减、陆- 弧碰撞、焊接了该弧的陆与另一个陆的陆- 陆碰撞、碰撞后的陆内剪切等几大阶段, 每个阶段都有与之耦合的盆地发育, 兼之造山过程的空间迁移性和陆内造山带的面状展布, 决定了“盆”“山”关系必然具多重性和复杂性。面对错综复杂的情况, 正确建立“盆”“山”系统的关键, 一是对控盆断裂活动的精确定年, 二是对盆地演化阶段的详细划分, 后者也是认识“盆”“山”系统更迭的基础。

控盆断裂常是多期活动的断层, 应在翔实的

野外调查的基础上恢复其活动期次和活动方式。如: 剪切走滑的摩擦生热可导致岩石的部分熔融, 因而露头上观察到的岩脉的期数及其互相穿插现象常指示了断层的几期平移活动; 冲断作用造成物源区的明显变化, 可在砾石或岩屑沉积记录中找到明显的证据。控盆断裂活动方式的改变则可引起盆地形状、盆地性质、沉积组合、古水流方向(或水流体系)等的重大变化。在此基础上, 对同位素年龄值的统计分析常可给出断层活动高峰期的有益启示。近年里发展起来并已趋成熟的断层精细定年技术可以颇为精确测定断层的主活动

期。区域内对断层的分段精细定年不但可以确定其平面延伸(断层可能呈锯齿状转折或雁列式延伸),而且可据其活动的空间迁移分析其动力来源,如哀牢山-雪龙山-德钦断裂渐新世-中新世时表现为自北西向南东变年青(同位素年龄可参阅文献[20]),反映了青藏高原的隆升及向东南的构造逸脱对该断裂左行走滑活动的控制。

盆地在建造过程中其构造背景会发生变化,这可从盆地的内部结构、沉积组合、物源区类型、岩石地球化学性质及盆地的形状等方面反映出来,据之可划分盆地的演化阶段。即使是在盆地的构造背景基本不变的情况下,受邻侧造山带发育和基底构造格局控制,兼之其他因素(如海/湖平面升降,气候变化等等)的影响,盆地内沉积相的平面分布,沉积相带的延伸方向等也会发生变化。盆地的某演化阶段还可细分为若干亚阶段。下一步是对已划分的这些(亚)阶段进行定年。化石当然是最基础的也是使用最广的定年手段,并应在地层多重划分原则<sup>[20]</sup>的指导下综合分析同位素年代学、磁性地层学等方面的资料。在为各种条件所限而无法精确决定地层时代的情况下,可先定出一个大致范围(如据沉积记录中含化石的滑塌岩块、已知年龄的花岗岩砾石或岩屑、已知地层时代的沉积岩砾石等可确定此套沉积岩较这些砾石年青;据上覆地层的时代可确定此套沉积岩老于上覆地层),但不要据岩石的岩性岩相组合来对比地层并确定年代。

## 2 两套分类体系及其结合

在描述性的学科中,经常要对已记录的现象和已积累的资料进行分类。“分类”是人们对客观世界的认识尚未到达自由王国时一个无奈的选择。一个好的分类方案不但有助于系统地总结现有的资料,而且因能容纳或包罗尚未发现的现象或规律而具有科学的预见性和前瞻性。这样的分类常依据一个或若干个原则进行,用于探讨未知世界的科学活动中,可称之理性的或科学性的分类。

在生产实践中,为了尽快解决某个具体问题,即使是在已积累的资料十分有限的情况下,人们也可能在描述现象时进行简单的归纳。实际上这也是一种分类,可称之应用性的或实用的分类,很可能它最终并不能形成系统的分类方案。油气勘探是一种生产实践,以获得具经济价值的油气资

源为直接目的,因而在其各个方面都不乏应用性分类的成功实例。

生物分类大概是最能说明在描述缤纷复杂的大千世界时分类所起的积极作用了。反映在地质学研究中,是必须将一个古生物化石置于一定的生物分类位置(属何门何纲何目何科)上进行描述,并给予一个学名。在石油工业史上则早就有了这样的实例(如1928年库什曼对钻孔中所见小型有孔虫的种、属命名和对比):见于钻孔中的微体化石是无法确定其生物分类位置的(因为连它到底是一个完整的生物个体还是生物的某个器官或组织都确定不了),但它有特征的形态、纹饰(壳饰)和结构等可供鉴别,在油田(或盆地)的范围内具有一定的层位并可进行横向追溯和对比,因而对它们进行定名并在积累了一定的资料后进行分析总结是油气勘探中不可缺少的工作。显然,微体化石的这种命名和分类完全是应用性的。

构造地质研究中也不乏这样的实例。褶皱和断层同属构造变形的基本单元,可从几何形态、成因机制等方面去进行系统的分类,如Ramsay等对褶皱分类的经典方案<sup>[21]</sup>。背斜褶皱是一种重要的构造圈闭。为了分析背斜构造与油气聚集间的关系,Suppe<sup>[22,23]</sup>提出了断层传播褶皱、断层转折褶皱等圈闭类型,可认为是一种应用性的褶皱分类。

盆地分类方案可作为另一个典型实例。板块构造诞生以来已提出了大量的盆地的系统分类方案,依据的原则无非是两条,一条是盆地在板块构造中的位置(或说盆地的大地构造背景),二是控制盆地发育的断裂活动方式(或说区域应力场性质)。这些分类方案并没有对全球性的油气勘探局面带来根本性的改观。在当时的盆地分类研究热潮中曾出现过结合板块运动以地域命名的盆地分类方案,划分了“中国型”(Chinese type)、“西地中海型”(W. Mediterranean type)、“潘农型”(Pannonian type)等盆地类型<sup>[24]</sup>,可认为是一个应用性的盆地分类方案。无独有偶,在金属矿床的研究中也不乏这样的见解,如金矿,因其成因多样,矿质来源复杂,又常常经多期成矿叠加而成,故称其为“夹皮沟式”金矿、“玲珑式”金矿等,也不失为一种应用性的分类方案。

“盆”“山”耦合和脱耦既把造山带(造山作用)和盆地(盆地演化)作为一个整体来开展多方面的考察和研究,又以油气勘探的突破为直接的主攻

目标。因而在这一研究中,必须同时使用这两套分类体系。试以前陆盆地里的油气田评价和前陆褶皱冲断带的变形分析为例说明。

前陆盆地的形态总体上为楔形(向着克拉通内“尖灭”),自造山带向克拉通方向常可划分出几个带,盆内则因冲断层活动、基底岩系隆起而使内部结构复杂化,当基底岩系冲出地表使某个次级盆地发育于冲断层上盘时即成为背负盆地<sup>[25,26]</sup>。随冲断作用不断地向克拉通内扩展,前陆盆地(位于冲断带的下盘)不断地向克拉通内迁移。前陆盆地的这些特征决定了盆地内的含油气带有规律的展布:大致顺盆地走向(即平行于造山带)沿着盆地边缘和次级隆起的两侧发育。这决定了盆地内含油气系统的划分。

前陆盆地因其演化历史长,充填物的建造类型和序列多样,经受的构造变形复杂,各期构造变形的样式可能差别甚大,这决定了前陆盆地内的油气资源远景有天壤之别。控制前陆盆地内油气藏形成的主要因素也随盆而异。划分盆地内的含

油气系统只是指出油气可能富集成藏的趋势,常不具有直接指导勘探的意义,因为同一个含油气系统中的不同部位(如前陆冲断带的陡坡与前隆带的缓坡),成藏条件、油气藏类型和保存条件可能都截然不同。因此,除了前陆盆地的次级构造单元的划分及相应的含油气系统的划分方案外,我们还需要一个直接为寻找油气藏服务的、能用于指导勘探的实用性的划分方案。油气运聚单元的概念应运而生<sup>[27]</sup>,强调的是以一组油气藏和圈闭为中心的成藏要素和地质作用的有机组合和时空演化(图2)。油气运聚单元具两种不同类型的边界,一是由各种地质界线(如断裂,岩性岩相变化带,地层剥蚀尖灭带和盆地边界等)构成的自然界线,二是油气运移的“分割槽”构成的流动边界。“分割槽”据油气主成藏期主含油气层系顶面流体势图上的高势面确定,其两侧分属两个不同的油气运聚单元。即:在前陆盆地的研究中,既可以结合次级构造单元的识别划分含油气系统,也可以更强调油气运移和聚集特征而划分油气运聚单元。

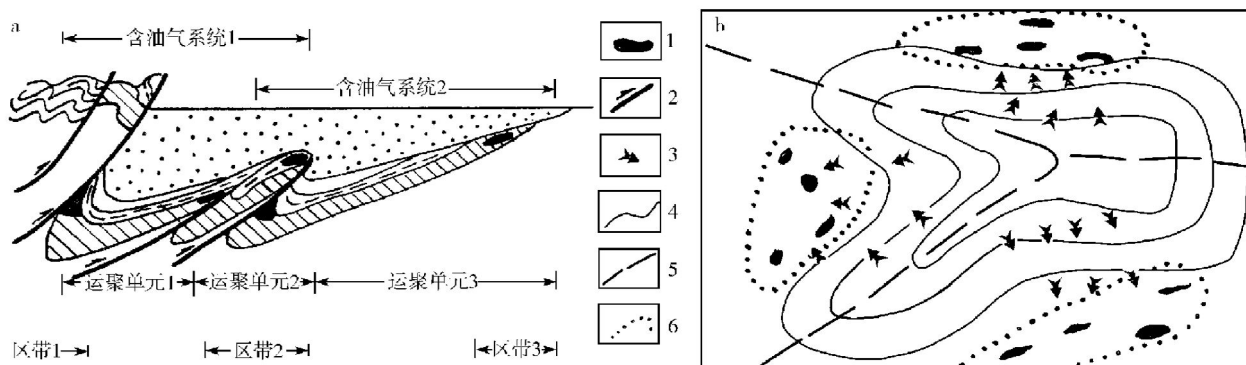


图2 含油气系统与油气运聚单元

Fig. 2 Petroleum system and hydrocarbon migration accumulation units

a—以前陆盆地为例;b—一个含油气系统内包含了3个油气运聚单元<sup>[25]</sup>;

1—油气藏;2—冲断层;3—油气运移方向;4—流体势等值线;5—运聚单元边界;6—区带边界

包括前陆盆地在内的前陆褶皱冲断带的变形具有十分明显的空间规律。粗略地,它可分为基底变质岩系已被卷入变形的厚皮构造带(靠近地缝合线一侧)和仅有盖层沉积卷入的薄皮构造带(靠近克拉通一侧)。薄皮构造带据褶皱样式常可再分为箱状背斜褶皱冲断带、梳状背斜褶皱冲断带、挠曲褶皱带等,反映向着前陆方向变形减弱;相应地,被卷入褶皱的地层变得年青(即:层间滑动面的层位变高<sup>[19,28]</sup>)。区域尺度上的强烈变形

只能使已生成的油气资源遭到破坏,所以油气勘探的方向应是低应变的挠曲褶皱带及梳状背斜褶皱冲断带。具体的构造圈闭的识别则需在区域构造解析的基础上做进一步的工作,分析那些影响地段和活动强度均有限的穿层断层和层间滑动断层的活动及其控制形成的各种构造圈闭的特征。除前述的断层传播褶皱和断层转折褶皱外,因逆冲作用形成的构造圈闭可能还有断滑褶皱、断弯褶皱、断展褶皱、背冲背斜、堆叠叠瓦褶皱和断层

转折-断层转折叠加褶皱<sup>[29]</sup>等,构成一个以油气勘探为目标的应用性的褶皱分类方案。

综上所述,“盆”“山”耦合和脱耦的研究,既有属于基础地质研究的一面,也有直接服务于油气勘探的一面,因而理性的系统分类和实用性的分类都是需要的,而且应将两者有机地结合起来。前者要求我们的研究与国际接轨,后者则倡导更多的立足于中国油气勘探的实践总结若干独特的或特征的规律。影响油气运聚成藏的因素较多,有的因素可能是随机的。这些随机的因素有可能成为“盆”“山”耦合和脱耦研究的切入点,故应不失时机地对已有的资料进行应用性的分类,并在勘探实践中据新进展、新认识而不断地修改完善这一分类,使之更真实地反映客观世界,更有效地指导油气勘探,同时也使“盆”“山”耦合和脱耦研究显示出更强的生命力。在研究区域地质问题时无疑需要理性的系统分类,才能描绘和谐的区域构造图像。同时也要充分认识地质现象的复杂性,局部的建造和构造可能是大量的,前者如作为滑脱层的膏盐透镜体、岩株、岩枝或岩脉、膏盐或泥岩的底辟体等,后者则如背冲断层、低级别的走滑断层、作为圈闭构造的背斜等,只要它们对油气勘探有积极意义,不妨先记录并进行应用性的分类。

### 3 汲取新成果,开拓新领域

与金属矿产不同的是:油气唯其运移才能聚集,唯其被圈闭才能成藏。因而“盆”“山”耦合和脱耦研究中面临的许多问题已超出了固体地球科学的范畴,必须及时汲取其他学科的新成果,并抓住几个关键问题不断开拓新领域。

油气运移的首要问题应是流体通道。砂岩和某些碳酸盐岩、不整合面和各种断裂(及缝隙)构成含油气盆地中的流体输导系统。近年来,以盆地演化史和流体输导格架研究为基础,以能量场演化及其控制的化学动力学和流体动力学过程为研究核心,形成了一门新的学科“油气成藏动力学”<sup>[30]</sup>。在各种流体通道中则应加强断裂的研究,不仅因为断裂带自身的复杂结构和输导能力决定了流体行为,而且断裂的活动方式直接控制了各种构造圈闭的形态和类型,叠加盆地中断裂上、下盘的运、聚情况明显不同<sup>[31]</sup>即可说明这一点。油气运移的另一重要问题是流体的驱动机制,它可分为两类,一类(可能是主要的一类)是构造成因

的,故而不同构造背景的盆地中流体的流动样式不同<sup>[32]</sup>,另一类则是非构造成因的。

研究成藏,则务必紧抓“晚期次生成藏”这一关键,方能使“盆”“山”耦合和脱耦的研究真正有所突破。“晚期成藏”<sup>[33]</sup>或“晚期次生成藏”<sup>[34]</sup>的认识对中国的油气勘探尤其重要,因为中国大陆上的新生代盆地也大多已遭受了改造。“晚期次生成藏”实际上是一个复杂的系统工程,必须一环紧扣一环地深入解剖,方能认识其特点。第一个环节是二次生烃(本段中的“二次”是一种泛指,即:一次生烃、运移和圈闭以后的历次生烃、运移和圈闭均统称为“二次”),应结合裂变径迹测试、矿物包裹体分析和 EASY%R。数值模拟技术研究烃源岩的埋藏史、受热史和生烃史<sup>[35]</sup>,结合有机地球化学的研究识别二次生烃时特有的(不同于一次连续演化生烃的)热变组分和热变次生组分<sup>[36]</sup>、及二次生烃的特征现象(如蓝移现象与二次生烃的迟滞效应密切相关<sup>[37]</sup>)。第二个环节是二次运移,特别注意分析原有的流通通道在二次运移中输导能力和流体行为的变化,如晚期构造运动引起的断裂活化可明显增强断裂的流体输导能力,诱发大规模的油气运移<sup>[38]</sup>。第三个环节是二次圈闭,不仅要分析因各种随机因素而造成的圈闭在平面上和垂向上(即不同构造层或构造亚层)的不同,更要分析能在后期改造中得以保存甚至得以加强的有效圈闭,只有在有效的二次圈闭内才有望获得二次成藏。第四个环节是二次成藏即晚期次生成藏,基础的工作是围绕新构造体制下的新有效成藏来考虑有效油气源、有效储层、有效圈闭和有效盖层的重新组合配套,进一步的工作是分析不同的新生代盆地(如中国西北的再生或陆内前陆盆地与中国东部的伸展盆地)的晚期次生成藏特点并用以指导同类盆地内的油气勘探,还应注意油气的幕式成藏及其驱动机制和识别标志<sup>[39]</sup>。

由于盆地已遭受多期改造,控制油气成藏和圈闭的随机因素较多(甚至很多)。必须借助各种勘探和测试的技术手段,方能更好地认识这些随机因素并发现新的随机因素。近年来这方面已有了长足进展,如:油气运聚非均一性和二次运移优势路径形成的定量分析技术<sup>[40,41]</sup>,辨别混合后的多源油气、恢复油气生-运-聚-散历史的流体包裹体方法<sup>[42]</sup>,反射地震勘探中的叠前深度偏移技

术<sup>[43]</sup>,精细的储层层序地层学技术<sup>[44]</sup>,用计算机来划分油气运聚单元的流体势场中油气运聚分隔槽的自动识别技术进而划分油气运聚单元<sup>[45]</sup>,等等。

本文还想强调的是:一方面,“盆”“山”耦合和脱耦研究要汲取上述新成果,不断地充实和完善自己,才能指导油气勘探;另一方面,这些方法和技术只有在活动论构造观的框架里才能真正体现其先进性,发挥其应有的作用。以生物礁气藏为例,近年来,以生物礁储层的地层特征为基础,综合运用测井、地震等手段,已明显提高了勘探的成功率。但是,一个生物礁毕竟只是一个点,要把这个点的成功经验扩大到一个地区,则不仅需要对控制生物礁发育的古地理格局有客观的认识,而且需要在个别研究生物礁形成发育的基础上综合分析对比该地区生物礁的控制因素,总结其成因和储集性能,才能有目的地使用这些新手段,让其发挥更积极的效用。油气勘探中其他新技术新手段的应用也是如此,因为其早期阶段常常是经验性的和就事论事的,采用的分类方案是应用性的,只有把它们纳入到一个理论体系内,才能尽快地使经验升华,使应用性的分类方案尽可能地贴近于理性的分类方案。

毋庸置疑,中国油气的二次创业要在不同于一次创业的新理论体系内实现。刘光鼎在论及中国油气的二次创业时提出前新生代海相残留盆地的区域动力学特征是盆山耦合<sup>[46]</sup>,指明了“盆”“山”耦合和脱耦在这一新理论体系中的作用。以活动论构造观为指导,有机地将思路、方法和技术手段三者结合起来,“盆”“山”耦合和脱耦将从含油气盆地研究的新理论发展为在生产实践中可供操作的油气勘探的具体指导。

## 4 结束语

作为一种地质学的研究,“盆”“山”耦合和脱耦分析同样需要活动论框架内的时空观,它可归结为两句话:时间序列上,“正序”的研究与“反序”的研究相结合以“反序”的研究为主;空间关系上,在确定一个时间段的基础上正确划分“盆”“山”系统。为这一时空观所约,本文提出在“盆”“山”耦合和脱耦研究中两套分类体系并用,即:在“正序”的研究和区域的研究中采用理性的分类以提高基础地质研究水平并与国际研究接轨,在“反序”的和局部(主要是指油气藏)的研究中则以应用性

的分类为主,突出“中国型盆地”的特点和经多期改造后的晚期次生成藏规律,以获得具经济价值的油气资源为直接目的。

本文讨论的方法学,既是近年来造山带和盆地研究的成功方法(如造山带地层学<sup>[20]</sup>,造山带古地理学<sup>[47]</sup>等)的发展和具体化,也是油气勘探中总结出来的科研思维与方法<sup>[48~51]</sup>的延续。“盆”“山”耦合和脱耦研究的方法学包含了两方面的意义。一是在含油气盆地研究中怎样能始终贯穿“盆”“山”耦合和脱耦的思路,或者说,在盆地分析中“盆”“山”耦合和脱耦的思路变得可供广大地质工作者操作。二是怎样使“盆”“山”耦合和脱耦从盆地研究的新思路发展为能具体地指导油气勘探,这使“盆”“山”耦合和脱耦研究自身面临着汲取新成果的挑战,包括与相邻学科的交叉渗透和新技术新手段的应用。本文作者愿虚心向有关领域的专家请教,携手把“盆”“山”耦合和脱耦的研究持久地深入下去,并不断开拓新的领域。

## 参 考 文 献

- 1 吴根耀,马力.试论“盆”“山”的耦合和脱耦及其运动学[J].石油实验地质,2003,25(2):99~109
- 2 吴根耀,马力.“盆”“山”耦合和脱耦——进展,现状和努力方向[J].大地构造与成矿学,2004,28(1):81~97
- 3 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,2002.20~36
- 4 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,2004.865
- 5 吴根耀,马力.对中国南方大地构造和油气远景的若干新思考[A].见:李德生.中国含油气盆地构造学[C].北京:石油工业出版社,2002.272~291
- 6 戴少武,贺自爱,王津义.中国南方中、古生界油气勘探的思路[J].石油与天然气地质,2001,22(3):195~202
- 7 杨克明.川西坳陷油气资源现状及勘探潜力[J].石油与天然气地质,2003,24(4):322~325
- 8 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(4):648~660
- 9 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
- 10 孙晓猛,吴根耀,郝福江,等.秦岭—大别造山带北部中—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
- 11 孙晓猛,张梅生,龙胜祥,等.秦岭—大别造山带北部逆冲推覆构造与合肥盆地,周口坳陷控盆断裂[J].石油与天然气地质,2004,25(2):191~198
- 12 曹高社,李学田,刘德良,等.合肥盆地与北淮阳构造带印支期

- 的推覆构造及其油气意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 116~ 122
- 13 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
  - 14 吴根耀, 马力, 陈焕疆, 等. 苏皖地块演化, 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): 336~ 352
  - 15 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
  - 16 铃木和博, 端山好和, 猪俣道也, 等. 福建石狮白垩纪片麻状花岗岩的 CHIME 年龄[J]. 科学通报, 1997, 42(12): 1 343~ 1 344
  - 17 李武显, 周新民, 李献华. 长乐- 南澳断裂带变形火成岩的 U- Pb 和  $^{40}\text{Ar}$ -  $^{39}\text{Ar}$  年龄[J]. 地质科学, 2003, 38(1): 22~ 30
  - 18 陈丕基. 晚白垩世中国东南沿岸山系与中南地区的沙漠和盐湖化[J]. 地层学杂志, 1997, 21(3): 203~ 212
  - 19 吴根耀. 古缝合线活化和华南中生代陆内造山运动[A]. 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汇集[C]. 北京: 地质出版社, 2001. 32~ 39
  - 20 吴根耀. 造山带地层学[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2000. 218
  - 21 Ramsay J G, Huber M I. Model method of structural geology, Vol. 1, analysis of strain[M]. 1988(中译本由刘瑞询, 常志忠, 张荣昌, 译. 现代构造地质学方法, 第一卷, 应变分析[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 1~ 337)
  - 22 Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. Amer Jour Sci, 1983, 283: 684~ 721
  - 23 Suppe J. Geometry and kinematics of fault-propagation folding[J]. Ecologae Geol Helv, 1990, 83(3): 409~ 453
  - 24 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence[A]. In: Miall A D. Facts and principles of world petroleum occurrence[C]. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 1980, 6: 9~ 94
  - 25 Allen P A, Homewood P, Williams G D. Foreland basin: an introduction[A]. In: Allen P A, Homewood P. Foreland basins[C]. Oxford: Blackwell, 1986. 3~ 12
  - 26 Ricci Lucchi F. The Oligocene to recent foreland basins of the northern Apennines[A]. In: Allen P A, Homewood P. Foreland basins[C]. Oxford: Blackwell, 1986. 105~ 139
  - 27 柳广弟, 高先志. 油气运聚单元分析: 油气勘探评价的有效途径[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 307~ 314
  - 28 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- 冲断系为例[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(3): 246~ 253
  - 29 段铁军, 徐宏节, 伍泓, 等. 塔里木盆地与断裂作用有关的圈闭类型特征[J]. 石油实验地质, 1998, 20(3): 217~ 222
  - 30 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2003, 7(3): 11~ 21
  - 31 庞雄奇, 罗群, 姜振学, 等. 叠合盆地断裂上、下盘油气差异聚集效应及成因机制[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 297~ 306
  - 32 Bachu B. Flow systems in the Alberta basin: patterns, types and driving mechanisms[J]. Bull Canadian Petroleum Geology, 1999, 47: 455~ 474
  - 33 Klemme H D, Ulmishek G F. Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors[J]. AAPG Bull, 1991, 75: 1 809~ 1 851
  - 34 孙肇才, 邱蕴玉, 郭正吾. 板内形变与晚期次生成藏——扬子区海相油气总体形成规律的探讨[J]. 石油实验地质, 1991, 13(2): 107~ 142
  - 35 朱炎铭, 秦勇, 范炳恒, 等. 黄骅坳陷深层古生界烃源岩的生烃演化[J]. 地质科学, 2001, 36(4): 435~ 443
  - 36 张有生, 秦勇, 刘焕杰, 等. 沉积有机质二次生烃有机岩石学特征[J]. 地质科学, 2003, 38(4): 437~ 446
  - 37 李田忠, 秦勇, 张有生, 等. 二次生烃的蓝移现象[J]. 地质科学, 2002, 37(1): 62~ 69
  - 38 O'Brien G W, Lisk M, Duddy I R, et al. Plate convergence, foreland development and fault reactivation: primary controls on brine migration, thermal histories and trap breach in the Timor Sea, Australia[J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16: 533~ 560
  - 39 郝芳, 邹华耀, 杨旭升, 等. 油气幕式成藏及其驱动机制和识别标志[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 403~ 412
  - 40 李旺军, 罗晓容. 碎屑岩输导层内油气运聚非均一性的定量分析[J]. 地质科学, 2001, 36(4): 402~ 413
  - 41 张发强, 罗晓容, 苗盛, 等. 石油二次运移优势路径形成过程实验及机理分析[J]. 地质科学, 2004, 39(2): 159~ 167
  - 42 陶士振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 77~ 91
  - 43 刘光鼎, 祝靛谊. 近期油气勘探地球物理的一些新进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 363~ 367
  - 44 Brown F L, Benson Jr J M, Brink G L, et al. Sequence stratigraphy in offshore South African divergent basin[J]. AAPG Studies in Geology, 1995, 41: 181
  - 45 刘晓冬, 徐景祯, 李椿, 等. 流体势场中油气运聚分隔槽的自动识别及运聚单元的划分[J]. 地质科学, 2002, 37(3): 295~ 301
  - 46 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
  - 47 吴根耀. 初论造山带古地理学[J]. 地层学杂志, 2003, 27(2): 81~ 98
  - 48 贺自爱. 假说——不应误解的一种研究方式[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 169~ 172
  - 49 何治亮, 朱虹. 石油勘探工作的系统观[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 356~ 360
  - 50 邸领军. 克服油气勘探中的惯性思维[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 284~ 286
  - 51 王庭斌. 中国天然气理论进展及勘探战略[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 1~ 7