

文章编号: 1001-6112(2010)01-0001-09

继承性构造与新生构造并存的时空发育特征

——“盆”“山”耦合理论指导油气勘探的一个切入点

吴根耀^{1,2}, 马力³, 里群², 梁兴⁴, 陈方鸿², 梁江平⁵, 朱德丰⁵, 杨建国⁵

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 北京中油石油技术有限公司, 北京 100083;
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; 4. 中国石油天然气股份有限公司
浙江油田分公司, 杭州 310013; 5. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712)

摘要: 研究继承性构造与新生构造并存的时空发育特征是“盆”“山”耦合理论指导油气勘探的一个切入点。文章从超大陆旋回, 成盆动力学和含油气构造带研究 3 方面展开论述, 强调“寻根溯源”, 在具体分析每一阶段的新生构造时注意基底/先存构造的影响, 从含油气盆地的研究深入到含油气构造带的研究, 从盆地的运动学研究发展到动力学(包括外动力和内动力)研究。在分析新生构造演化的 2 种趋势的基础上指出了海相油气勘探的 3 类主要靶区。以新生构造的演化为主线, 结合“源”“运”“聚”“藏”的研究, 借鉴石油地质学研究的其它新思想, “盆”“山”耦合将成为指导油气勘探尤其是海相油气勘探的创新思路之一。

关键词: “盆”“山”耦合; 新生构造; 继承性构造; 超大陆旋回; 成盆动力学; 含油气构造带; 油气勘探

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

TIME—SPATIAL DEVELOPING FEATURES OF CO-EXISTED INHERITED AND NEOGENIC STRUCTURES

—A TANGENT IN POINT OF BASIN—OROGENY COUPLING THEORY GUIDING PETROLEUM EXPLORATION

Wu Genyao^{1,2}, Ma Li³, Li Qun², Liang Xing⁴, Chen Fanghong²,
Liang Jiangping⁵, Zhu Defeng⁵, Yang Jianguo⁵

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*

2. Beijing China Petroleum Technology Co. Ltd., Beijing 100083, China;

3. Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

*4. Zhejiang Oilfield Company, CNPC, Hangzhou, Zhejiang 310013, China; 5. Exploration and Developing
Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163712, China)*

Abstract: The study on time—spatial developing features of co-existed inherited and neogenic structures might be a tangent in point of basin—orogeny coupling theory guiding oil—gas exploration, which was expounded from the three aspects: super-continental cycles, basin-making dynamics and petroliferous structural belts. The study emphasized to “get to the root” and “trace to the source”, namely, to analyze the neogenic structure as well as influence of the basemental (or pre-existed) ones in each tectonic phase, so that the basin research was deepened into petroliferous structural belts in the basin, and the basin kinematics was made further advances on the basin dynamics. Based on two tendencies of neogenic structural evolution, three main target areas was pointed out for marine original oil—gas exploration, which marked the basin—orogeny coupling theory taking an important step to guide the (marine original) oil—gas exploration. To take the neogenic structural evolution as the key link, to synthesize the studies on source, migration, concentration and accumulation, and to draw lessons from recently new fruits of petroleum geology, the basin—orogeny coupling theory would be developed further and become one of the bringing forth new ideas for oil—gas exploration, specially for marine original oil—gas exploration.

Key words: basin—orogeny coupling; neogenic structure; inherited structures; super-continental cycles; basin-making dynamics; petroliferous structural belt; oil—gas exploration

收稿日期: 2009-09-26; 修订日期: 2009-12-02。

作者简介: 吴根耀(1946—), 男, 研究员, 博士生导师, 从事区域大地构造和盆山耦合演化研究。E-mail: wugenya@mail.igcas.ac.cn。

笔者等曾有系列文章论述“盆”“山”耦合,使之成为含油气盆地分析的必由之路^[1-10];在这一基础上,笔者等提出“从中国大陆大地构造特征看油气勘探的探索之路”^[11],希望“盆”“山”耦合研究能进一步深化、细化并发展为油气勘探的有力指导。之所以强调中国大陆的大地构造特征,是因为中国及邻区大陆是一个不同起源的微大陆,或地块经多期造山运动拼合一增生而形成的复合大陆,构造叠加现象十分明显。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。在分析了继承性构造与新生构造并存发育的大量实例^[12-17]的基础上,透过错综复杂的表面现象,按新生构造的发育程度,将中国东部的晚中生代—新生代盆地分为 5 种情况。2 种极端情况是:以新生(或继承性)构造为主,局部地区继承性构造仍有表现(或局部地区有新生构造出现)。介于这两者之间的,即继承性构造与新生构造并存,可再区分出 3 种情况:1)两者在空间上表现为有规律的更迭;2)两者在空间上的表现取决于局部的边界条件;3)两者见于不同的地区,其间有清晰的构造界线。对扬子、塔里木和鄂尔多斯 3 大克拉通的陆表海盆地,可分为 3 类 5 种情况。第 1 类是各构造旋回内均有新生构造发育,有 2 种情况:一个构造旋回内只发育一种方向的新生构造,或一个构造旋回内新生构造的发育随地而异。第 2 类是仅陆表海沉积阶段有新生构造出现,2 种情况则与第一类相似:1 个构造旋回内只发育一种方向的新生构造,或一个构造旋回内有几种方向的新生构造同时活动。第 3 类是以继承性构造为主,新生构造很弱或基本不发育。当然可能还有其它情况,如一次重大造山事件改变了地块的大地构造属性(或背景)之后(原称的继承型叠合盆地^[5]),继承性构造和新生构造的发育均较和缓。

上述实例分析指出了新生构造的发育和继承性构造与新生构造并存的研究在油气勘探尤其是海相油气勘探中的重要意义。继承性构造与新生构造并存发育的时空特征的研究在“盆”“山”耦合理论的指导下进行,以下 3 方面的认识则表征这一研究标志着“盆”“山”耦合理论得到进一步完善并进入了一个新阶段。

1 超大陆旋回与新生构造

与以往研究不同的是:本文作者对(海相)油气勘探的研究是在超大陆旋回的框架里进行的。中元古代以来,中国及邻区大陆的大地构造演化可划

分出 4 个超大陆旋回^[18-20]:哥伦比亚(或称努纳, Nuna)旋回、罗迪尼亚旋回、古特提斯旋回和新特提斯旋回,后者在中国常分为燕山和喜马拉雅 2 个亚旋回。东亚大陆边缘地区白垩纪以来的构造演化还受郯庐和长乐—南澳等北东向巨型走滑断裂带(斜向汇聚—剪切造山带)制约,可区分出 2 个剪切—拉张至剪切—挤压的里丁旋回^[21-22]。因每一构造旋回内构造线走向不同而形成的“立交桥”(overfly)式构造,不但在造山带地区常见,在盆地内其实也十分常见。

盆地内部的新生构造自身尽管并不构成造山带,但其形成和发育都与邻侧的造山带演化有关。每一期新生构造的出现都受制于大区域内造山作用的方式、造山的极性和造山带的走向,因而新生构造不但有明确的走向,而且有特定的空间发育规律。以“盆”“山”耦合为指导研究继承性构造与新生构造并存发育的一个关键,是在限定一个时间段后正确地厘定“盆”“山”系统^[7],即:认识在该限定时间段内该地区的演化主要受哪个“盆”“山”系统控制,可能叠加有哪几个(次要的)“盆”“山”系统的影响。同时也应看到:新生构造的发展壮大,对现存构造的改造,对盆地发育的控制及对含油气构造带形成的积极作用等,无不受其下伏构造层乃至前寒武纪变质基底构造的影响。如中扬子地区的黄陵古陆核,既可以作为一个刚性地块分隔开不同走向的 2 个“盆”“山”系统(新生构造),又可作为先存的边界条件而改变新生构造的延伸方向(晚二叠—早三叠世的北西向城口—鄂西台盆向东南延伸时变成近南北向,北西向的燕山期中扬子褶皱—冲断带向西扩展时偏转为北北西向^[14])。前述一个构造旋回内可能出现几种方向的新生构造(或几种方向的新生构造同时活动),归根到底,一是盆地发育与邻侧不同的造山带演化耦合,二是盆地内先存构造控制形成的特定边界条件。尽管象黄陵古陆核这样的古老地块会在地史期间长期发育,就全盆地而言各构造旋回内先存构造制约的边界条件并不相同。因而,对新生构造的研究应遵循“寻根溯源”的原则:剖析这一构造旋回的造山作用是“寻根”,探讨基底构造格局或先存构造特征对该期构造发育的制约和影响是“溯源”。

将新生构造研究纳入超大陆旋回的框架,还要强调的一点是新生构造的继承性发育。可区分出 2 种基本的情况:一是某构造旋回内出现的新生构造在下一构造旋回内仍有明显活动,如塔里木中部的加里东期的北西向断裂在海西期发生张裂;二是

某构造旋回出现的新生构造在经历了相当长的构造平静期后才重新活动,如上扬子地区加里东期的北东向构造在燕山期重新活动^[14],即陆内造山运动的机制是拼合大陆内部的古缝合线或古深断裂因拼合大陆外侧发生板间的造山作用而被激活^[2,23]的情况。新生构造在后期继承性发育的最终结果,既可能保存至今甚至发展壮大为主要的控盆断裂(或成为新的构造单元的边界),也可能停止活动甚至被另一方向的新生构造改造掉。试分隆起和断裂各作简要说明。

鄂尔多斯断块古生代海相沉积期的2个隆起有明显不同的发育特征^[16]。北部的乌兰格隆起近东西向,是基底构造控制发育的一个继承性隆起,演化为现今鄂尔多斯断块的次级构造单元伊盟隆起。以北西向构造为主体的古中央隆起是早奥陶世中—晚期(马家沟期)出现的新生构造,晚石炭世海相沉积时仍有继承性发育。因鄂尔多斯断块西缘南北向断裂在晚白垩世—古近纪的强烈冲断,现鄂尔多斯断块为一西倾单斜,原古中央隆起已被改造掉,相应地,油气藏已发生了调整或次生成藏^[5]。断隆的演化有相似的2种结果。如塔里木中央隆起,其中一东段被厚大的中—新生界掩盖成为海相油气勘探的有利地区,最西段的柯坪地区则在新生代被卷入了南天山前陆褶皱—冲断带,现已不属于塔里木盆地。

新生的断裂构造因其继承性发育而成为控盆断裂或构造边界的情况十分常见。因南北向贺兰裂堑的发育(早—中奥陶世为全盛期),华北克拉通西部破裂为阿拉善断块和鄂尔多斯断块;燕山运动的强烈冲断使南北向断裂成为现鄂尔多斯断块的西界^[16]。吉黑蒙地区早白垩世早期北东向新生断裂的剪切—拉张活动形成一系列北东向的火山岩盆地带。早白垩世巴列姆期—阿普提期早期,大兴安岭的热隆升分隔了其西的海拉尔盆地、二连盆地与其东的松辽盆地。这说明北东向构造进一步向陆内扩展并控制松辽盆地成为接受巨厚大型河湖相沉积的内陆拗陷^[17]。要注意的是:受制于大地构造位置或背景,新生构造发育壮大时可表现出多种形式,即使在一个盆地内其表现形式也可随地而异,应抓住新生构造的发育演化这条主线。

新生的断裂构造也可能在后期停止活动(或基本不活动)。塔里木中部的北西向断裂早—中二叠世是火山岩喷溢或辉绿岩侵入的通道,并因被火成岩“焊合”而从此停止活动^[15,24]。塔中的北西向断裂北延至塔北隆起后成为南北向,继早—中二叠世

的张裂后印支—燕山期发生走滑成为构造变换带^[25],新生代不活动,有利于油气保存。

2 对成盆动力学研究的贡献

成盆动力学的研究显然是多侧面多角度的,如笔者等曾提出按动力源深度的不同来统一认识造山与成盆的动力学^[3]。研究新生构造的出现和发育演化实际上把成盆的内动力与外动力结合在一起考虑,是成盆动力学研究的一个重要方面。

内动力的研究聚焦于盆地(可容空间)沉降的机制。盆地内每期新生构造的出现都标志着一个新的“盆”“山”系统形成,因而可容空间的发育,包括其空间位置、走向、形态和动态演化(盆地迁移)等,实际上都是该期新生构造的反映(或具体而微的表现),与邻侧的造山带演化密切相关。如前陆磨拉石盆地总位于冲断层下盘,呈向前陆方向变浅的楔形;磨拉石盆地群的发育和展布取决于冲断作用的发展顺序(前展式扩展,后展式扩展,无序地扩展)^[2]。伴随冲断作用既可能有低级别的背冲(back-thrust)断层发生(其下盘也有磨拉石盆地发育^[26]),也可能造成在冲断层的上盘发育磨拉石盆地即背负盆地(piggyback,如意大利的波河盆地^[27]),兼之有山间和后陆磨拉石盆地发育,使磨拉石盆地群发育的时空分布趋于复杂。剪切断裂则控制了拉分盆地、走滑松弛盆地等的发育,其活动常伴有共轭的剪切断裂和低级别的牵引构造(“入”字型构造),这些显然与冲断层不同。受制于基底/先存构造格局(继承性构造),局部地区可容空间的走向、形态、边界及迁移等会发生变化;盆内次级构造的形成及其发育也常是新生构造与继承性构造共同制约的结果。在更大的区域内,可发现与同一造山带耦合发育的盆地群有较清楚的空间展布规律,但各个盆地的发育可能各具特征,既反映了成盆与造山具有统一的动力学机制(因为同一造山带的不同段可能有不同的造山作用类型和变形特征),也反映了新生构造对该地盆地发育演化的运动学过程的控制。

成盆动力学的外动力的研究,包括物源区类型及供应方向、搬运方式、沉积相带及其展布和相带的迁移等。对单个盆地而言,陆源碎屑供应区既可能由造山作用形成,也可能是上一地史阶段隆起区的继承性发育。随造山作用的进行或断裂活动的持续,即使源区的位置不变,构成碎屑供应的岩石类型也可能会发生变化,并在沉积记录与源区岩石之间形成多种响应关系^[28]。经历了每一次重大的

造山事件后都会出现新的构造—古地理格局,因而地史期间的物源区识别不能“将今论古”。此外,要注意盆地沉降期间刚形成的物源区(如隆升的火山弧,冲断层冲起的岩席等)供应的碎屑。碎屑供应方向实际上取决于物源区位置,同样受制于新生构造及先存隆起的继承性发育。在复原地史期间的源区位置和碎屑供应方向时应排除后期改造的影响,如源区的被断失或掩埋,源区构成的块体发生了剪切位移或旋转等^[28]。流水是最常见的搬运方式且可总结为 2 种主要流向:一种是顺坡的即常说的“水向低处流”,另一种是顺槽的。决定这一构造—古地理格局的仍是新生构造及先存隆起的继承性发育。新生构造的出现显然会在沉积格局的改变中最先得到反映。如塔里木中部北西向新生断裂控制了晚奥陶世沉积依次发育有礁、礁—滩、滩—礁、滩、丘—滩和丘—席 6 种微相,相带呈北西向延伸^[29];川东北晚二叠—早三叠世,北西向新生构造控制了碳酸岩台地、斜坡和台盆 3 大沉积体系,台地又可依次分为潮坪+潟湖相带、台内点礁(或鲕状滩)相带、滩后潟湖相带和台缘礁(或滩)相带^[30]。海相沉积的生物礁—滩相带是对油气勘探有重要意义的沉积层。随同沉积断层的伸展,台盆扩大,台地边缘的礁—滩相带及碳酸岩台地内的其它相带发生向台地的迁移。陆相沉积中,在新生构造形成的隆起内侧会依次出现冲积扇、河流、三角洲和湖泊的沉积相带(其延伸与隆起的走向一致);随隆起的扩大,这些相带发生向块内的迁移。陆相沉积中有利油气储集的浊积岩和三角洲前缘砂体的展布等常与新生构造的发育有关。

综上所述,在成盆内动力学和外动力学的研究中同样应遵循“寻根溯源”的原则,在主攻新生构造的出现和发育演化的同时注意基底/先存构造的影响。成盆动力学的内动力与外动力的研究实际上互为促进。陆相沉积中,如可容空间的形成和发育主要与(新生的)构造运动有关,I 级和 II 级层序界面常是构造运动面,III 级层序界面尽管是岩相转换面,常可作为区域上沉积阶段划分的标志(之一)。这样,内动力与外动力的研究在构造层序地层学^[31]的框架内得到统一并互补互助。

要以动态发育的眼光来研究盆地,即:在盆地演化过程中,盆地间的“分分合合”十分常见^[32]。新生构造的出现代表一个新构造旋回的开始。早期的剪切—拉张阶段常控制断陷、箕状盆地或拉分盆地等发育,它们可能数量众多,构成(断陷或拉分)盆地,但带与带之间并不连通。随同生正断

层的停止活动进入拗陷阶段,原彼此分隔的盆地带被同一个大盆地上叠。原不同类型的盆地(分属不同的成盆动力学系统)也可能被同一个大盆地上叠,表明该成盆动力学系统已取代了其它动力学系统。为不同动力学系统控制发育的盆地可能在相向扩展(或扩大)时连通,其进一步发育可能有多种情况:既可能一个盆地停止发育,也可能 2 个盆地彼此上叠并改造前期的对方盆地。大盆地的解体则可能有 3 种机制:该期新生构造的进一步发展壮大(包括其派生的、伴生的或共轭的构造形成和壮大),盆地基底构造(或先存构造)的继承性活动,邻侧的造山作用造成的第 2 期新生构造。在前 2 种情况下,成盆的动力学机制并未改变,只是盆内次级拗陷和隆起的面貌发生了变化。在后一种情况下,盆地尽管继续发育但类型(构造背景)可能已发生了变化(成盆动力学机制变了)。随盆地间多次的“分分合合”,因基底构造(可能具多组方向)的反复活动和多期新生构造的出现,盆地及内部次级构造的面貌会变得十分复杂。认识这一复杂现象的钥匙是成盆动力学机制的分析。平面上,为一个动力系统控制发育的沉陷堆积区划归为一个盆地(群),盆内可能有多个次级盆地,盆地群可能由多条盆地带组成。时间序列上,可据成盆动力学的变化在厚数千米乃至逾万米的沉积记录中识别出若干个世代的盆地(如滇西的上中生界—新生界^[1,9])。今天我们面对的“盆地”,是地史期间的盆地历经多期改造后或残破或畸变的地质记录,实际上可归结为 2 种极端情况:一是今天的盆地只是地史期间盆地残留或残余下来的一小部分,曾称构造盆地;二是今天的盆地是地史期间不同位置、不同背景甚至不同时代的沉积物组成的拼盘,曾称复合盆地^[5,32-33]。无论对前者(把今天看似面貌不同也各不相同的这些残块“放回”到原来的盆地里去)还是后者(把今天拼盘里的各部分“送还”到它沉积时的各个盆地里去),恢复盆地原始面貌、分析盆地原型的判据都是成盆动力学机制。

简言之,新生构造的研究结合基底/先存构造决定的边界条件分析,可从内动力与外动力 2 方面促进成盆动力学的研究;反过来,成盆动力系统的厘定促使了非原地的构造—古地理重建朝着尽可能客观的目标逼近。如果说,“盆”“山”耦合的研究主要集中于盆地成因(可容空间的沉降机制)、盆地沉积记录对造山事件的响应和盆地与造山作用耦合的动态演化 3 方面^[6]的话,继承性构造与新生构造并存发育、尤其是新生构造发育的研究,对这 3

方面都有十分积极的贡献,因而新生构造的研究是探讨成盆动力学的重要突破口。

3 对含油气构造带研究的指导

研究继承性构造与新生构造的并存发育尤其是新生构造出现和发展壮大,使“盆”“山”耦合分析在指导油气勘探方面变得可供操作,在油气勘探的探索之路上迈出了重要一步。

盆地的形成发育受制于新生构造的出现和发展壮大。据后者的演化可从时间序列上将盆地的建造阶段细分为若干个亚阶段,如早期阶段可细分为断陷(剪切—拉张)、断—坳转化、强烈坳陷和缓慢坳陷等亚阶段,晚期阶段可细分为初始挤压、强烈挤压、挤压相对松弛、再次挤压和盆地反转闭合等亚阶段。每一亚阶段中,主控盆断裂的活动方式和强度可能不同(或因地而异),其伴生或共轭断裂的发育情况各亚阶段有别,继承性构造的发育或表现也不一样。相应地,这些亚阶段有不同的沉积记录,与生、储、盖的发育有内在的联系;结合新生构造(褶皱和断裂)的发育可具体而细致地进行运、聚、藏的研究。将盆地的改造阶段细分为若干亚阶段剖析其油气输导体系、储集空间和成藏条件等方面的特征,既有助于我们分析各种构造圈闭的形成及其空间组合关系,也有助于认识油气藏后期的保存、破坏、调整或晚期次生成藏的规律性。亚阶段的划分和研究解决的是含油气构造带的发育和分布的背景问题。

盆内空间上可划分为若干带。这首先要分开 2 种类型:一是该盆地可能分属几个“盆”“山”系统,即盆地的不同部位分别与邻侧的造山带耦合发育,故盆内同期新生构造的方向可随地而异;二是同一“盆”“山”系统内因变形方式、强度等的不同而分为若干带。后者如前陆褶皱—冲断带,向着克拉通内(前陆)可分出基底褶皱—冲断带、箱状背斜褶皱—冲断带、梳状背斜褶皱—冲断带和挠曲褶皱带^[2],其变形强度依次变弱,卷入变形的地层层位相应变高,变形方式则以断裂为主变为以褶皱为主。随前陆褶皱—冲断带的扩展,前隆不但会发生迁移,而且可能发生解体,其边缘部位有正断层或剪切—拉张断层发育。这样,向着克拉通内部按变形方式可分为:冲断带、褶皱—冲断带、(挠曲)褶皱带、正断层(或剪切—拉张断层)带和基本不变形的前隆核部带。冲断层、正断层和剪切断层因倾角不同而下切深度不同,油气的输导性和封堵性等也各具特征。同一“盆”“山”系统内,某一层位的烃源

岩,既可能未被断层切入而不能通过断层排烃,也可能因被不同性质的断层切入使油气到达不同的层位或部位而形成不同类型的油气藏。同样,某一层位的油气储集层,可能被卷入基底冲断带而油气散失,可能被卷入背斜褶皱成为构造油气藏,也可能不被卷入褶皱变形发育地层或岩性油气藏。此外,还应强调不同构造层变形方式和面貌的不同。如塔里木北部,古近系底部及新近系膏盐层在变形事件中成为层间滑动面,盐上层(新生界)变形以褶皱为主,盐下层(前新生界)变形以断裂为主且向下延伸收敛于中—下寒武统的膏盐层^[15]。

本文作者之一曾提出盆地研究需要 2 套分类体系,一套用于表征其地质特征,另一套用于寻找油气藏或直接指导勘探^[7],后者如油气运聚单元^[34]。它具有 2 种不同类型的边界,一是各种地质界线构成的自然边界,二是油气运移的“分割槽”构成的流动边界。新生构造的研究,如前所述,不管是将盆地演化细分为亚阶段还是在同一“盆”“山”系统内再划分出带,都密切关注运、聚和成藏的动态演化,成为将这 2 套分类体系有机联系起来的纽带。

作为新生构造的同沉积断裂对岩性(或地层)油气藏的控制作用十分明显。海相沉积的实例是塔里木中部奥陶纪的北西向断裂^[29]和四川盆地东部晚二叠世—早三叠世初的北西向构造^[30,35],两地具不同的成藏特征则取决于新生构造的发育和后期新生构造的叠加。塔中地区北西向新生断裂仅加里东期(可分为早期艾比湖运动和晚期博罗霍洛运动)和海西期活动,中—新生代无新生构造出现,因而加里东期和海西—早印支期是主要的成藏期,喜马拉雅期是油气藏的调整期。作为一个复式油气聚集区^[24],该地除具多个产层、多种输导系统和多期油气充注外,多种类型的油气藏垂向上复合叠置、横向上连片成带是一大特征,即:构造圈闭、非构造圈闭和复合圈闭均有发育。由于同生断层的活动时间长(晚寒武世—奥陶纪),台地边缘礁滩相带发育好,使沿北西向断裂形成的奥陶系碳酸盐岩内幕油藏成为塔中地区最重要的勘探目标^[24,36]。川东地区的碳酸盐岩优质储层曾被马永生等总结为“三元控储”机理和“复合控藏”模式^[37-38],实际是 2 期新生构造的叠加。北西向同沉积断裂在控制沉积相分带和成岩环境的同时也控制了原生孔隙和断裂输导体系的发育,进而控制了流体—岩石相互作用(即“三元控储”)。但该期同生断层的活动时间相对较短(飞仙关组沉积后未

见活动),形成的岩性油气藏很可能达不到塔中那样的规模。上叠的北东向新生构造在控制构造圈闭的同时,古油藏实现油向气的转化,并在调整过程中于合适的构造部位再富集(即“复合控藏”)。因而该地的油气藏是构造—岩性复合油气藏。因华蓥山断裂是川黔湘褶皱冲断系的前锋断裂,川东地区燕山期变形并不强烈且以薄皮褶皱为主,兼之喜马拉雅运动时燕山期的“盆”“山”关系得以闭锁,使该地成为一个重要的油气聚集带。

陆相沉积中也不乏这方面的实例。鄂尔多斯断块二叠纪时自西向东形成了石咀山、杭锦旗(或称苏里格)、靖边和米脂 4 大南北向的河流—三角洲沉积体系,其间为南北向的窄长隆起分隔^[39]。它们的物源区都在北边,源区岩石不同使其砂岩的岩性出现规律性变化:西段隆升较弱,物源区由浅变质岩(石英岩为主)组成,故石咀山和杭锦旗体系为石英砂岩区;东段隆升强,麻粒岩—角闪岩相变质岩已折返至地表,米脂体系为贫石英的岩屑砂岩区;两者之间的靖边体系是岩屑石英砂岩—岩屑砂岩区^[40]。这些都反映了南北向构造对沉积的控制。由于该地中生代构造简单呆板^[41](实际上是中—新生代没有新生构造出现^[16]),块内变形相对微弱,地层产状平缓(呈一西倾单斜),构造幅度低,因而以岩性油藏和地层油藏为主,油气运移效率低,聚集成藏效率低,相应地,储量丰度低,开采难度大(参阅吴根耀等^[16]及后附文献)。渤海湾盆地与之明显不同,主要表现为以下 2 点:1)由于新生代内北东向新生断裂的活动,兼之源岩的排烃期与断裂输导期合理匹配,油气储集效率高,储量丰度大;2)在以北东向构造为主的地区,中新统和上新统的储集层常形成构造油气藏^[13]。

4 与其它思想成果的关系

近年里,随勘探(尤其是海相油气勘探)的不断深入,总结了不少新的思想成果。它们既可从构造的角度给予更深入的理解,与它们的结合也可使继承性构造与新生构造并存发育的研究在指导油气勘探方面发挥更积极的作用。试择例说明如下。

4.1 石油富集“黄金带”

罗志立等提出中国的含油气盆地群可划为经向和纬向两条带,因两者拥有中国石油总产量的 94% 和总储量的 99% 而称之为石油富集“黄金带”^[42]。

经向黄金带以渤海湾盆地为主体,北延为依兰—伊通盆地,南延包括南华北盆地、南襄盆地和

江汉盆地等^[42],产油层系为古近系。实际上,这条“经向”黄金带是近北东向的。笔者等已提出以郯庐断裂带和长乐—南澳断裂带为代表的北东向构造是燕山期(早白垩世)出现的新生构造^[20-22],前者的北延包括了依兰—伊通断裂;南延,可归入郯庐运动系的还有团(风)—麻(城)断裂(含湘东北的长平断裂)和赣江断裂^[21,43]。随燕山造山带的坍塌,这些北东向断裂在晚白垩世转变为伸展。沿郯庐断裂带发育的古近纪断陷盆地,指示了燕山期的新生构造在新生代里的继承性活动,部分地区叠加上古近纪晚期—新近纪出现的北东东向新生构造的影响,局部地区(如渤中凹陷),盆地的发育主要受北东东向的新生构造控制^[13]。

纬向黄金带(的主体),指中天山北缘断裂和雅布拉克—赤峰断裂以北至国境的广大地区,产油层系为侏罗—白垩系,因构造发育的不均衡性可划为东、中、西 3 段^[42]。东段包括了二连、海拉尔和松辽 3 大盆地及 20 余个小型盆地,基底是海西期兴—蒙增生弧型造山带,构造线走向北东东(除东部外)。因蒙古—鄂霍次克洋侏罗纪的闭合及嗣后的陆—陆碰撞^[44],海西期缝合线活化并控制了陆内造山的磨拉石盆地发育,侏罗纪的二连盆地为北东东向,东延可达松辽地区^[12,45],属继承性构造。早白垩世北东向的新生构造出现并控制了强烈的火山活动,大兴安岭隆起^[17]。北东向张扭性断层在控制北东向盆地(如松辽盆地)发育的同时对原北东东向盆地进行改造,故二连盆地东延时不但止于大兴安岭,而且自西向东延伸时由以北东东向构造为主变为以北东向构造为主^[13]。海拉尔盆地的演化基本同二连盆地,只是北东向的新生构造对盆地发育有更明显的控制作用,北东东向构造仅见于盆地东北部^[46]。

中段指西起阿尔金山、东止呼和浩特的 8 个小盆地^[42],主体仍位于兴—蒙造山带上,侏罗纪活化。与东段相比,继承性构造控制盆地发育表现出以下特点:1)因部分克拉通地区被卷入了陆内造山作用,故盆地的基底岩石除古生界浅变质岩外可能有前震旦纪的深变质岩(如甘肃西部的酒西—花海盆地);2)构造线走向主要表现为近东西向,如阴山山脉,雅布赖盆地和银根盆地等^[16];3)近东西向构造的继承性活动起了限制作用,如北东东向的阿尔金山断裂延入甘肃后偏转为近东西向^[47]。该地的新生构造主要是鄂尔多斯西缘中元古代出现的南北向断裂带^[16],它在白垩纪和古近纪均表现为冲断。

纬向“黄金带”的西段主要指准噶尔和吐(鲁

番)一哈(密)盆地,若以侏罗系为目的层来考虑还应包括天山南侧的伊宁、库车、焉耆和敦煌等盆地^[42]。基于下列理由,本文认为把这些盆地称西段显得牵强:1)准噶尔和吐哈盆地发育于准噶尔地块上,原属西伯利亚构造域,有古生界海相盖层沉积^[11,20],这决定了盆地演化具独特的面貌(如海西期构造的“盆”“山”耦合关系至今未解脱)^[4];2)随南、北天山洋盆闭合和中国—东南亚次大陆与西伯利亚次大陆拼合成一体,侏罗纪在中国西北部和中亚出现了一个统一的面状分布的大盆地^[44],上述盆地和塔里木、柴达木等,都是这个大盆地解体的残余部分,盆地性质不同于中段和东段呈线状分布的磨拉石盆地;3)晚侏罗世开始因古缝合线活化,北天山等山体逐步隆起,侏罗纪大盆地解体,因而准噶尔盆地等白垩纪—新生代的演化不同于中—东段,倒与其南的塔里木盆地有相似性,如晚古近纪—一新近纪,南天山向南冲断在塔里木盆地北缘形成3排背斜褶皱带,北天山则向北冲断在准噶尔盆地南缘形成3排背斜褶皱带。

综上所述,纬向“黄金带”的中段和东段的侏罗纪磨拉石盆地为近东西—北东东向,属海西期构造在燕山期的继承性活动,之后分别受到南北向构造(中元古代形成的新生构造在白垩—古近纪继承活动)和北东向构造(燕山期的新生构造)的叠加和改造。近北东向“黄金带”的白垩纪盆地和古近纪盆地发育受早白垩世形成的北东向新生构造的控制,不同程度地叠加有晚古近纪—一新近纪出现的北东东向新生构造的影响。

4.2 “优相低势”与新生构造

庞雄奇等^[48]和王永诗^[49]提出“相—势耦合控藏作用”。“相”对油气的控制作用可从宏观到微观分为4个不同的层次,即构造相、沉积相、岩相和岩石的物理相(储集性能),它们对油气成藏的控制可总结为“优相控藏”或“优相—高孔渗控藏”。“势”是地层中某一点的流体在某一地史时刻所具有的潜在能量的总和,其地质作用表现为位能、界面能、压能及动能控制下的油气聚集成藏,可总结为“低势控藏”。综合这两者,庞雄奇等提出了“优相—低势”控藏的概念模型与分类(见庞雄奇等^[48]的图17)。

继承性构造与新生构造并存的研究,既是相控油气藏研究的基础,也是势控油气藏研究的前提。上述4个不同层次的相是逐级起控制作用的(构造相控制了沉积相,沉积相控制了岩相,岩相控制了岩石物理相)。同沉积发育的新生构造,因活动强

度不大而使其在盆地建造阶段中能长期起作用(不是使盆地闭合回返遭受改造),控制了构造—古地理格局的形成和沉积相带的展布,也间接控制了岩相和岩石物理相的发育。上述的实例已经说明这一规律不仅适用于中—新生代陆相断陷盆地,也适用于古生代—三叠纪的海相断陷盆地。

对“低势控藏”而言,只有后期发育新生构造才能出现低势。位能上,沉积盆地从中心向边缘、从深部向浅部位能降低。今天看到的盆地常是在最年轻的一期构造运动中定型的,因而新生构造直接控制了盆地的边缘和盆内的构造高。从压能上看,压力减小的方向通常是流体泄压和输导排运的主要方向,断裂是超压体系卸压的重要渠道和幕式排烃的主要途径,因而断裂泄压处是断块油藏形成的最主要场所,是低压能控藏的直接体现^[48]。新生构造常属次级构造或低级构造,只切穿一部分地层而不通达地表^[17,25],尤其有利于油气的运聚成藏。对于界面能,油气在毛细管压差作用下总是从孔隙小的介质向孔隙大的介质运移,在低界面能区聚集成藏,典型实例是浊积砂岩透镜体油藏^[48]。浊流的发生常与构造作用产生的重力坍塌、地形陡坡和物源区供给等有关,因而新生构造尤其是同沉积期的新生构造对低界面能区油气成藏有直接或间接的控制作用。前文提到的油气运移的分割槽是流体势图上的高势面^[34],相应地,油气运聚单元位于其两侧的低势区。从动能的角度分析,地下水动力场与油气运移间有着密切的关系,前者的形成直接受盆地地貌、水文网、沉积环境、构造性质及其演化史控制^[50],因而至少受新生构造的间接控制,因为盆地的现今地貌等都是最年轻的一次构造运动定型的。王捷等的研究则表明盆地边缘部位是水动力减弱的低动能处,有利于地层超覆等油气藏的形成和分布^[51],说明新生构造还可能起直接的控制作用。

简言之,构造油藏和断陷盆地中的岩性油藏都与新生构造密切相关,因而本文的研究与“优相低势”的研究互为补充,互相促进。

4.3 “多元控砂、主元成藏”与新生构造

“多元控砂、主元成藏”系刘震等在研究陆相断陷盆地圈闭的复杂性时总结的岩性油藏的成藏特征^[52-53]。尽管是岩性油藏,仍可发现构造在多方面起直接的或间接的控制作用,如:构造带类型和沉积体系域受并存发育的继承性构造与新生构造控制,盆地的地温状态主要取决于新生构造(尤其是其控制的火成活动),新生构造发展壮大时常形

成层间断裂(不切穿非能干层如泥岩等)成为油气运移通道等。“多元控砂、主元成藏”主要是基于二连盆地和渤海湾盆地的研究提出的,笔者已探讨了这 2 个盆地中继承性构造与新生构造并存的时空发育特征,尤其是按新生构造发育的强度把渤海湾盆地中的次级单元分成 3 类(以辽河拗陷、渤中拗陷和东营凹陷为代表),分别讨论了其成藏特征和油气勘探方向^[13],说明在“盆”“山”耦合指导下可以更深入全面地进行“多元控砂、主元成藏”的分析。如果将“砂”理解为储层,这一构思还可引伸入海相盆地的研究中。

5 结束语

1) 复合大陆区的盆地研究要以活动论构造观为指导,就应置于超大陆旋回的框架内,在具体分析每一构造阶段的新生构造时注意基底/先存构造的影响,研究继承性构造与新生构造与并存发育的时空特征,即本文强调的“寻根溯源”。这样才能从对含油气盆地演化的研究深入到对含油气构造带的研究,从盆地的运动学研究发展到动力学(包括外动力和内动力)的研究。这 2 种构造并存发育的研究有助于具体地确定油气勘探靶区,标志着“盆”“山”耦合理论在从指导盆地分析发展到指导油气勘探的道路上迈出了重要的一步。

2) 对海相油气勘探,本文强调陆表海沉积阶段结束后是否有新生构造出现;在发育新生构造的地区,应注意寻找“上山”“下盆”的情况^[4],如川西在面状的造山带之下保存有阿坝地块^[54]。更多的勘探靶区则应聚焦于以下 3 种地区:低应变的前锋区,因构造作用相对平和而能促进早期油气再富集,因褶皱相对宽缓而为构造油气藏提供储集空间(如川东);因古老地块的阻隔、斜向走滑断层的构造转换、基底断裂的重新活动等多种原因能“逃脱”(或少受)后期造山作用的改造而得以“闭锁”(或部分“闭锁”)的地区;以及为数个陆内造山带围绕或夹持的地区,因后期改造较弱海相地层保存较好。

3) 新生构造的研究具体而微地体现了“围绕新构造体制下的新有效成藏来考虑各成藏要素的组合配套^[1]”这一思想。新生构造可能发展壮大为区域内的主导构造,发展壮大的方式因地制宜。华北克拉通西部南北向新生构造已成为新的构造单元边界,后期冲断使邻侧地区的油气藏发生调整或晚期次生成藏^[5,16]。松辽盆地早白垩世出现的北东向新生构造则是把共轭的北西向断裂、伴生的北北西(一近南北向)断裂和派生的北北东向构造纳入

自己的运动学体系^[17]。新生构造也可能在后期停止活动甚至被改造掉^[16],要注意发现这些“消失”了的海相沉积阶段的新生构造并分析其油气勘探意义。

4) 继承性构造与新生构造并存发育的时空特征的研究,是“盆”“山”耦合理论指导油气勘探的一个切入点,反映“盆”“山”耦合研究进入了一个新阶段。本文还从继承性构造与新生构造并存发育的角度对前人提出的石油富集“黄金带”进行了新的诠释,简要评述了与石油地质学其它新成果之间的关系,认为继承性构造与新生构造并存发育的研究与它们互为补充,互相促进,因为构造油藏和断陷盆地中的岩性油藏都与新生构造密切相关。以新生构造的发育演化为主线,结合“源”“运”“聚”“藏”的研究,借鉴石油地质学的其它新思想,“盆”“山”耦合理论将进一步发展完善并成为油气勘探的创新思路之一。

参考文献:

- [1] 吴根耀. 盆地研究的活动论构造观[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 309—318.
- [2] 吴根耀. 造山带地层学[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000: 218.
- [3] 吴根耀, 马力. “盆”“山”耦合和脱耦: 含油气盆地研究的新思路[M]//中国石油学会石油地质专业委员会. 油气盆地研究新进展第一辑. 北京: 石油工业出版社, 2002: 20—36.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 吴根耀, 马力. 中国南方“盆”“山”的耦合和脱耦关系[M]//马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质. 北京: 地质出版社, 2004: 180—255.
- [9] 吴根耀, 马力. “盆”“山”耦合和脱耦的反转点和切入点研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 8—17, 24.
- [10] 吴根耀, 马力, 梁兴. “盆”“山”耦合: 中国人首创的地质理论[J]. 科学中国人, 2005(11): 52.
- [11] 吴根耀, 马力. 从中国大陆大地构造特征看油气勘探的探索之路[M]//中国石油地质年会学术委员会. 中国石油地质年会论文集. 北京: 石油工业出版社, 2005: 61—67.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 吴根耀, 梁兴, 马力. 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[J]. 石油实

- 验地质,2009,31(1):1-11,18.
- [15] 吴根耀,杨海军,王步清,等. 塔里木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[J]. 石油实验地质,2009,31(4):315-323.
- [16] 吴根耀,梁兴,陈方鸿. 鄂尔多斯断块新生构造的继承性发育及对油气勘探的启示[J]. 现代地质,2009,23(4):595-606.
- [17] 吴根耀,梁江平,杨建国,等. 白垩纪北东向构造与松辽盆地演化和油气成藏[J]. 大庆石油地质与开发,2009,28(6):1-11.
- [18] 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.
- [19] 吴根耀. 华南及邻区提提斯演化[M]//曹佑功. 全球构造带:超大陆形成与裂解. 北京:地质出版社,1998:46-63.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 吴根耀. 古缝合线活化和华南中生代陆内造山运动[M]//中国地质学会. 第31届国际地质大会中国代表团论文集. 北京:地质出版社,2001:32-39.
- [24] 孙龙德,李曰俊,江同文,等. 塔里木盆地塔中低凸起:一个典型的复式油气聚集区[J]. 地质科学,2007,42(3):602-620.
- [25] 杨海军,郝芳,韩剑发,等. 塔里木盆地轮南低凸起断裂系统与复式油气聚集[J]. 地质科学,2007,42(4):795-811.
- [26] 吴根耀. 滇西北地区第三纪的逆冲—推覆构造[J]. 大地构造与成矿学,1994,18(4):331-338.
- [27] RICCI LUCCHI F. The Oligocene to recent foreland basins of the northern Apennines[M]//Allen P A, Homewood P. Foreland Basins. Oxford: Blackwell, 1986:105-139.
- [28] 吴根耀. 初论造山带古地理学[J]. 地层学杂志,2003,27(2):81-98,115.
- [29] 范国章,赵宗举,周进高,等. 塔中I号坡折带奥陶系凝析气田勘探中的古地貌学方法[J]. 海相油气地质,2006,11(2):52-56.
- [30] 倪新锋,陈洪德,田景春,等. 川东北地区长兴组—飞仙关组沉积格局及成藏控制意义[J]. 石油与天然气地质,2007,28(4):458-465.
- [31] 吴根耀. 构造层序地层学[J]. 地球科学进展,1996,(3):310-313.
- [32] 吴根耀. 造山带古地理学:在盆地构造古地理重建中的若干思考[J]. 古地理学报,2005,7(3):405-416.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 赵宗举,周新源,范国章. 塔里木盆地塔中地区主要构造圈闭形成期分布及成藏意义[J]. 海相油气地质,2006,11(2):1-8.
- [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] 付金华,魏新善,任军锋,等. 鄂尔多斯盆地天然气勘探形势与发展前景[J]. 石油学报,2006,27(6):1-4,13.
- [40] 杨华,魏新善. 鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J]. 天然气工业,2007,27(12):6-11.
- [41] 孙肇才. 简论鄂尔多斯盆地地质构造风格及其油气潜力:纪念朱夏院士逝世10周年[J]. 石油实验地质,2000,22(4):291-306.
- [42] 罗志立,田作基,徐旺. 试论中国大陆经向和纬向石油富集“黄金带”特征[J]. 石油学报,1997,18(1):1-9.
- [43] 梁兴,吴根耀. 赣江断裂带中生代的演化及其地球动力学背景[J]. 地质科学,2006,41(1):64-80.
- [44] 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.
- [45] 朱德丰,任延广,吴河勇,等. 松辽盆地隐伏二叠系和侏罗系的初步研究[J]. 地质科学,2007,42(4):690-708.
- [46] 陈均亮,吴河勇,朱德丰,等. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景[J]. 地质科学,2007,42(1):147-159.
- [47] 何光玉,韩永科,李建立,等. 阿尔金断裂花海段新生代变形特征及时间[J]. 地质科学,2007,42(1):84-90.
- [48] 庞雄奇,李丕龙,张善文,等. 陆相断陷盆地相—势耦合控藏作用及其基本模式[J]. 石油与天然气地质,2007,28(5):641-652.
- [49] 王永诗. 油气成藏“相—势”耦合作用探讨:以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. 石油实验地质,2007,29(5):472-476.
- [50] 楼章华,金爱民,田炜卓,等. 论陆相含油气盆地地下水动力场与油气运移、聚集[J]. 地质科学,2005,40(3):305-318.
- [51] 王捷,关德范. 油气生成运移聚集模型研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999:99-112.
- [52] 刘震,赵阳,杜金虎,等. 陆相断陷盆地岩性油气藏形成与分布的“多元控油—主元成藏”特征[J]. 地质科学,2006,41(4):612-635.
- [53] 刘震,郝琦,赵贤正,等. 二连盆地砂体形成和分布的多元控制特征分析[J]. 地质科学,2007,42(2):319-334.
- [54] WU G Y. Main tectonic units and geological evolution in South China and its environs: in the light of Gondwana dispersion and Asian accretion[M]// Metcalfe I. Gondwana Dispersion and Asian Accretion. Rotterdam: A A Balkema, 1999:315-340.

(编辑 叶德燎)