中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 10 期: 1621 ~ 1631
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文 中国科学院学部 科学与技术前沿论坛 中国(东亚)大陆构造与动力学

环青藏高原盆山体系构造与中国中西部天然气大气区

贾承造, 李本亮*, 雷永良, 陈竹新

中国石油勘探开发研究院, 北京 100083
* 联系人, E-mail: lbl@petrochina.com.cn

收稿日期: 2012-10-10; 接受日期: 2013-04-29; 网络版发表日期: 2013-08-26
国家油气专项科技攻关项目(编号: 2011ZX05003-002)资助

摘要 新生代特提斯洋向北消减导致欧亚板块与印度板块碰撞, 大陆会聚控制青藏高原下地壳增厚、上地壳逆冲叠置和隆升, 形成高原地貌. 随着青藏高原隆升和向北、向东推挤, 挤压构造变形不断向外扩展, 形成现今全球最大弥散型陆内构造变形域和板内变形最为活跃的巨型盆山体系, 即环青藏高原盆山体系. 由于不均一的小克拉通拼贴, 地壳发生分异, 造山带回春上升, 小克拉通沉降, 古板块边缘形成继承性前陆盆地群或前陆冲断带群. 由这些复活的古造山带、前陆冲断带和小型克拉通盆地三个构造单元共同构成环青藏高原盆山体系. 环青藏高原盆山体系是一个巨型的构造体系和特殊性质的喜马拉雅运动期构造域, 是中国中西部喜马拉雅运动的主要特征, 也是可以与青藏高原相提并论的巨型大地构造单元. 挤压冲断构造变形带沿昆仑山-阿尔金山-祁连山-龙门山呈弧形带向北、向东扩展; 随着晚新生代印藏持续碰撞, 欧亚大陆强烈变形, 构造变形带向外围进一步扩展, 传递到阿尔泰山-阴山-吕梁山-华蓥山弧形带. 冲断构造不断向环青藏高原外围扩展的同时, 在盆山体系内部发生强烈陆内变形, 古造山带复活, 在造山带与盆地边缘形成了新的前陆盆地, 冲断构造变形依次从造山带向克拉通盆地内扩展. 在欧亚大陆与印度板块的碰撞及其远程效应的控制下, 环青藏高原巨型盆山体系从内向外的构造变形强度、盆山耦合程度依次降低; 克拉通边缘的单个盆山组合也具有从山前向克拉通方向构造变形强度依次降低, 构造变形样式逐渐变得简单、构造变形时间依次变新的规律. 在整个环青藏高原巨型盆山体系中, 整体表现为三个构造分段: 西段构造变形传播、中段高原增生-推覆、东段走滑-抬升. 在环青藏高原盆山体系中, 古生界克拉通盆地和中新生界前陆冲断带是具有重要天然气勘探价值的两个基本构造单元, 它决定了中国中西部天然气分布主要受古生界克拉通古隆起和中新生界前陆冲断带的控制, 具有多期成烃与晚期成藏的特点.

关键词
环青藏高原盆山体系
喜马拉雅构造运动
陆内变形
构造域
天然气资源

中文引用格式: 贾承造, 李本亮, 雷永良, 等. 环青藏高原盆山体系构造与中国中西部天然气大气区. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1621–1631
英文引用格式: Jia C Z, Li B L, Lei Y L, et al. The structure of the Circum-Tibetan Plateau Basin-Range System and the large gas provinces. Science China: Earth Sciences, 2013, 56: 1853–1863, doi: 10.1007/s11430-013-4649-7

中国地势特征为西高东低, 地貌上表现为盆地镶嵌在山脉之间. 在地质上则表现为两种迥异的构造作用: 西部挤压构造, 造山带向盆地冲断推覆, 盆地边缘挠曲沉降或挤压抬升; 东部拉张构造, 盆地基底断陷沉降, 发育裂谷盆地. 这种地貌地质格局显著地反映了中国陆内的喜马拉雅构造活动特征. 其主要制约因素有两个: (1) 小型克拉通板块拼贴的基底结构, 它奠定了现今盆山格局深部构造的基础; (2) 青藏高原隆升推挤和太平洋板块俯冲拉张的共同作用, 它控制了喜马拉雅运动期间中国陆内变形的构造性质和特征. 受喜马拉雅构造运动的影响, 中国的陆内变形整体表现为三种动力学机制: 青藏高原隆升、盆地与造山带体制和东部拉张活动. 构造变形集中体现在四个构造域: 青藏高原隆升域、环青藏高原盆山体系域、稳定域和环西太平洋裂谷活动域.

20 世纪 70 年代以来, 许多地质学家和石油学家从不同角度探讨了中国中西部的大地构造演化、盆地构造特征及其含油气性(Dewey 和 Burke, 1973; Molnar 和 Tapponnier, 1975; Tapponnier 等, 1982, 2001; Allegre 等, 1984; Hendrix 等, 1994; Yin 和 Harrison, 2000; Wang 等, 2001), 充分认识到中国中西部盆地的特殊性, 提出了残余弧后盆地、“C 型俯冲盆地”(Bally 和 Snelson, 1980), “碰撞继承盆地”(Graham 等, 1993)和“再生前陆盆地”(Lu 等, 1994)等分类意见. 随着油气勘探的进程和资料的积累, 信息科学的进步和学科的集成, 特别是随着近十几年来以塔里木为代表的中西部含油气盆地油气勘探的不断深入和大量的第一手地震、钻井资料的获得(贾承造等, 1995, 2001, 2005, 2006, 2008; 贾承造, 1997, 2005, 2007), 有条件去从更加宏观的角度考察沉积盆地的区域构造归属, 从更加微观的角度去研究盆地结构与构造层序. 中国中西部受挤压构造的影响, 造山带向盆地冲断推覆, 导致盆地边缘挠曲沉降或挤压抬升, 广泛分布的再生前陆盆地群及其周缘山脉事实上构成了青藏高原北部到东部外围的一个巨型盆山构造体系, 即环青藏高原盆山体系. 在这个巨型的盆山体系中存在复活的古造山带、前陆冲断带和小型克拉通盆地三个主要的构造单元(贾承造, 2009), 古生界小型克拉通与中新生界前陆盆地(冲断带)的叠合复合控制中国中西部复杂的油气地质特征. 处于环青藏高原巨型盆山体系内部的塔里木盆地, 同样由周缘造山带、前陆冲断带和小型克拉通盆地组成, 并决定了其油气分布受古生界克拉通古隆起和中新生界前陆冲断带的控制, 油气勘探主要以古生界克拉通和中新生界前陆冲断带为主.

环青藏高原巨型盆山体系在中国中西部沉积盆地的成盆动力学、构造变形规律和油气勘探前景研究中具有重要意义. 中国中西部复杂的含油气盆地地质特征整体受古生界小型克拉通与中新生界前陆盆地(冲断带)的叠合复合控制, 油气分布的特殊性因喜马拉雅期差异的区域构造变形而体现出不同的表现形式. 本文通过三条区域构造地质大剖面的编制, 探讨环青藏高原盆山体系的构造成因、变形特征及其对油气藏分布的控制作用.

1 环青藏高原盆山体系

环青藏高原盆山体系是一个巨型的构造体系和特殊性质的喜马拉雅运动期构造变形域, 是中国中西部喜马拉雅运动的重要特征, 也是可以与青藏高原相提并论的巨型规模的构造单元. 其主要特征是地壳在印度-青藏陆陆碰撞的巨大水平压力下向北传播、向东滑移, 大规模的走滑-逆冲断层活动造成巨型的山脉隆升和盆地挠曲沉降(Allegre 等, 1984; Harrison 等, 1992; Tapponnier 等, 2001). 它介于阿尔泰山-阿拉善南部-吕梁山-华蓥山与昆仑山-阿尔金山-祁连山-龙门山这两个弧形带之间的区域, 其间包括了海西-印支期的造山带和镶嵌在其中的塔里木、准噶尔、柴达木、四川和鄂尔多斯等构造相对稳定的沉积盆地, 以及盆地与造山带之间发育的 10 多个前陆冲断带. 随着青藏高原的隆升和向北的推挤, 冲断构造自昆仑山-阿尔金山-祁连山-龙门山这一弧形带不断向外围扩展. 巨型盆山体系内古造山带复活, 冲断带也依次从造山带向盆地扩展形成前陆冲断带和盆缘挠曲. 这一巨型盆山体系环绕青藏高原的北部和东部(图 1), 其形成与活动受到印藏碰撞和青藏高原活动的控制, 盆山结合部位发育大规模前陆冲断带活动, 这些前陆冲断带有相似的活动历史和变形记录.

1.1 环青藏高原盆山体系的构造成因

以中国中西部为主体的环青藏高原盆山体系, 其形成不仅受青藏高原隆升推挤的动力学条件制约, 同时也受小型克拉通拼贴的基底结构的影响. 二者构成了影响陆内变形的主要外因和内因, 控制盆地

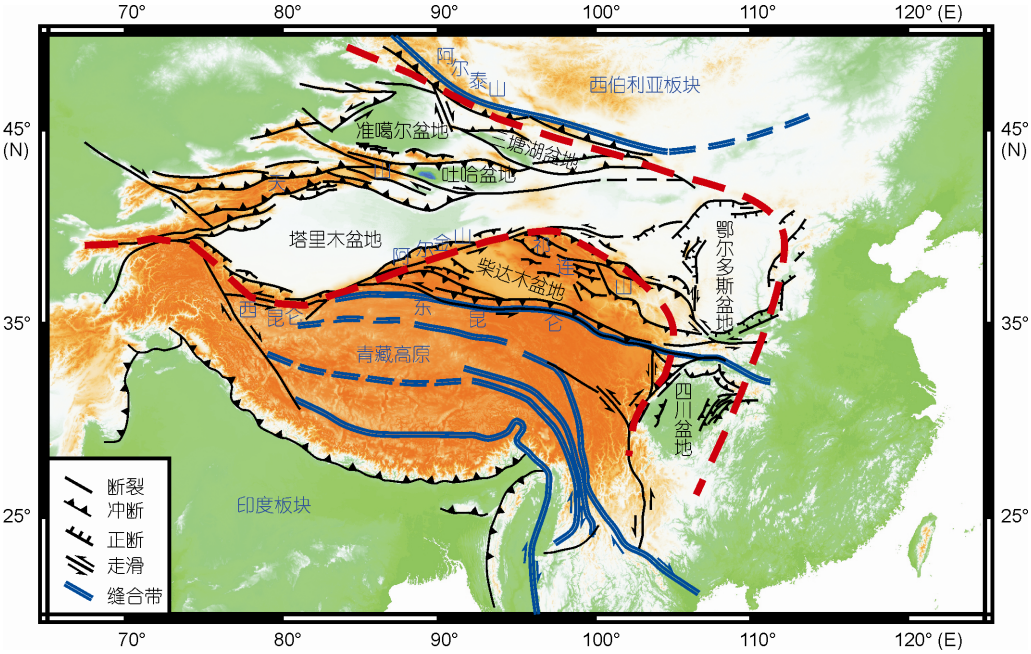

图 1　环青藏高原盆山体系分布图

沉降和造山带隆升相互耦合的构造格局.

1.1.1　小型克拉通拼贴的基底结构

元古代-早中生代是中国微大陆漂移和聚合的时期, 位于欧亚板块南缘、印度板块北缘和太平洋板块西缘的中国大陆, 以塔里木、华北和扬子三个克拉通为核心, 与准噶尔、柴达木和羌塘等 20 多个微陆块经历了多期的大陆解体和拼合(朱夏, 1986; 张恺, 1991; 肖序常等, 1991; 邱中建和龚再升, 1999; 贾承造等, 2005). 到中三叠世末期和晚三叠世, 随着古特提斯洋组成部分的秦岭洋、金沙江洋和昆仑洋闭合和消亡, 扬子克拉通与华北克拉通、中咱微陆与扬子克拉通, 羌塘微陆和塔里木克拉通等相继发生碰撞和拼贴, 在古特提斯构造域东段形成海西-印支期造山带(包括秦岭、昆仑山和龙门山等造山带)(肖序常等, 1991; 潘桂棠等, 1997; 杨树锋等, 2002). 小克拉通拼贴的过程显示中国中西部基底结构具有不均一性. 拼贴的基底结构与海西-印支期造山带组成“镶嵌式”陆壳(李春昱, 1982), 构成制约喜马拉雅期盆山构造格局形成和陆内变形发育的主要内因. 在挤压构造作用下, 古板块内部发育构造相对稳定的克拉通盆地, 古板块边缘发育前陆盆地或前陆冲断带, 古板块之间形成新的造山带.

1.1.2　青藏高原隆升-推挤的动力效应

新近纪后, 印度板块与亚欧板块碰撞导致了青藏高原隆升并产生远距离推挤效应, 这一效应是制约环青藏高原盆山体系陆内变形的重要地球动力学因素. 挤压构造应力由南向北传递并作用在中国中西部拼合的大陆基底上, 引发了大量板内挤压型的前陆盆地或前陆冲断带变形, 形成了以逆冲断层及断层相关褶皱为基本构造样式的前陆褶皱冲断带. 空间上, 西部地区越靠近青藏高原, 挤压冲断构造的变形程度越强.

受高原隆升及其远距离推挤效应的影响, 海西-印支期的古造山带产生构造复活, 如天山、昆仑山、祁连山和龙门山等造山带在新生代强烈隆升; 早期盆地结构上发育继承性前陆盆地, 如准噶尔、塔里木、柴达木和酒泉等盆地边缘剧烈沉降, 幅度可达 4000~7000 m; 造山带的侧翼与克拉通盆地的边缘形成前陆冲断带, 如准南、吐哈、库车、塔西南、博格达山前(北缘)、喀什、柴北缘、川西和川北等地普遍发育新近纪以来的前陆冲断.

中国中西部中、新生代前陆盆地与相邻的板块俯冲碰撞作用在成因机制和时间上并无直接联系, 但是却产生于已拼合的古造山带和古板块接壤部位, 并沿其边缘(或内部)某些断裂向原始陆块(或新生陆

内盆地)一侧逆冲, 在其前缘产生挤压挠曲的载荷和沉降, 堆积巨厚的沉积. 所以中国中西部中、新生代前陆盆地在成因上有以下特征: (1) 前陆盆地形成于古板块拼接后的大陆内部, 与印藏碰撞的远距离效应引起的板内造山作用有关, 是板块内部的一种特殊地质构造, 与传统的板块边缘的前陆盆地成因不同; (2) 由于大陆基底为小克拉通拼合, 板内造山作用形成的前陆盆地规模小, 边界条件复杂多变, 活动性大; (3) 古板块进一步向古造山带之下俯冲或抬升剥蚀, 早期盆地又重新卷入冲断变形.

1.2 环青藏高原盆山体系新构造的整体特征

环青藏高原盆山体系是喜马拉雅期构造活动的产物, 集中体现了高原隆升-推挤体制下的弥散型陆内变形, 具有向北传播、向东收敛的特点. 根据现今以欧亚大陆为参照系测定的 GPS 速度场(Wang 等, 2001)及其反映的陆内构造位移和应变强度(图 2), 在环青藏高原盆山体系的西段, 从塔里木盆地南缘的西昆仑山到北缘的天山到准噶尔北缘的阿尔泰山, 近南北方向的速度矢量显示高原隆升-扩张过程中从南向北的位移消减, 构造应变的传播在一定程度上已波及到准噶尔盆地北缘; 在环青藏高原盆山体系的中段, 从柴达木盆地到阿拉善地区, 速度(位移)场显示近北东方向, 夹持在其间的阿尔金山-祁连山已显著地受到高原向北增生的影响, 应变强度沿造山带边缘显示一个弧形边界带. 强烈的高原增生导致柴达木盆地卷入到整个青藏高原的造山过程中, 成为青藏高原的一部分; 在环青藏高原盆山体系的东段, 从四川盆地到鄂尔多斯盆地, 速度(位移)场显示近南东方向, 较大尺度的位移位于四川盆地西南缘的滑移边界上, 高原隆升-推挤的应变强烈地收敛于这两个克拉通盆地的西侧, 并显示出一个南北向的应变梯度带.

新生的环青藏高原盆山体系具有小型克拉通周缘造山带构造隆升和克拉通盆地边缘挠曲沉降的新构造耦合特点, 表现出以克拉通盆地或隆升造山带为核心的双边或单边挠曲沉降. 在西部的塔里木盆地, 南缘西昆仑山强烈隆升, 北缘天山造山运动复活导致克拉通南北边缘的双边挠曲, 叠置塔西南和库车-柯坪的再生前陆充填体系, 形成叶城坳陷、库车坳陷和乌什凹陷等(图 3). 而在准噶尔盆地, 向北传播的陆内变形则造成准噶尔盆地南缘基底向下挠曲, 北缘抬升的单边构造沉降和沉积充填; 在中段的柴达木盆地北缘和酒泉盆地, 表现为以祁连山为中心, 形成造山带两侧盆地的构造挠曲和沉降; 在东段的四川盆地, 尽管缺失大量的新生界沉积, 但盆地西南部

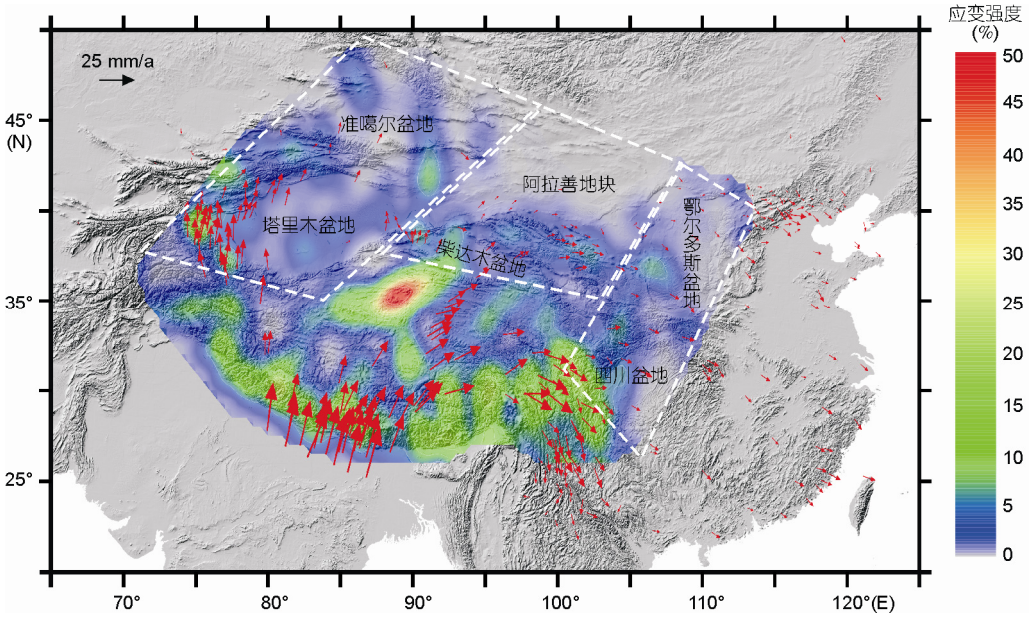

图 2 环青藏高原盆山体系速度场及应变强度

GPS 速度场数据来源于 Wang 等(2001)

残留的新近纪晚期堆积反映了盆地西南部单边的构造沉降. 此外, 响应构造抬升-沉降的盆山耦合作用过程, 环青藏高原盆山体系内的造山带显示自由空气重力正异常(1°×1°), 而以小克拉通为核心的沉积盆地显示负异常(图 4). 较高的负值异常见于西部的塔里木盆地和准噶尔盆地. 在各个盆地内均显示西南部负值异常相对较大, 东北部负值异常相对较小. 这在一定程度上反映小克拉通盆地卷入陆内变形的特点, 表现为盆地西南缘挠曲、东北缘相对翘倾、基底整体向西南倾斜的不对称结构.

2　环青藏高原盆山体系的分段特征

环青藏高原盆山体系的陆内变形在盆地整体结构和沉积响应上具有一定的共性表现, 但其构造发育特征则存在分段差异. 总体上可归纳为西、中、东三段(图 2). 研究编制了穿过西昆仑-塔里木盆地-天山-准噶尔盆地, 东昆仑-柴达木盆地-祁连山-酒泉盆地-阿拉善地块, 以及龙门山-四川盆地-雪峰山的三条区域大剖面(图 5~7), 探讨盆山体系以传播、增生以及侧向会聚作用为特征的差异构造变形.

2.1　环青藏高原盆山体系西段

环青藏高原盆山体系西段的盆山耦合效应突出地表现在塔里木盆地中央隆升、南北双边沉降和准噶尔盆地南缘单边沉降、北端隆升的盆地结构中(图 5). 该段发育大规模的再生前陆盆地和新生前陆冲断带, 陆内变形以挤压缩短构造变形的传播为总体特征. 受造山带推挤及其动力传播的影响, 盆内形成多个褶皱-冲断带, 具有明显平行于山体走向的排带分布特征. 例如, 塔西南地区的达木斯-甫沙-柯东-克里阳背斜带(上新世早期)、苏盖特-齐姆根-柯克亚背斜带(上新世中、晚期)、英吉沙-棋北-固满-合什塔格背斜带(更新世早、中期)和阿克陶-捷得-斯力克背斜带(更

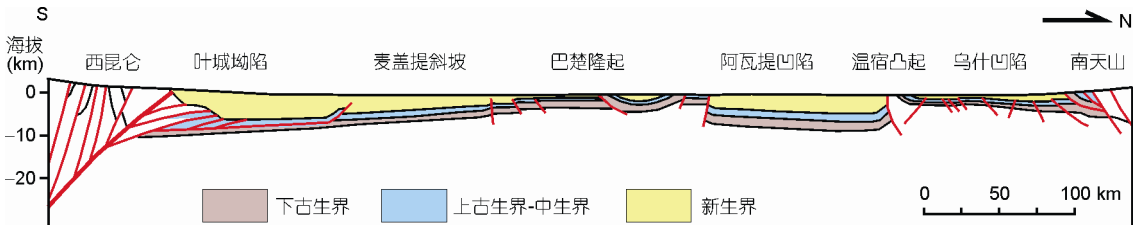

图 3　塔里木盆地南北向结构剖面

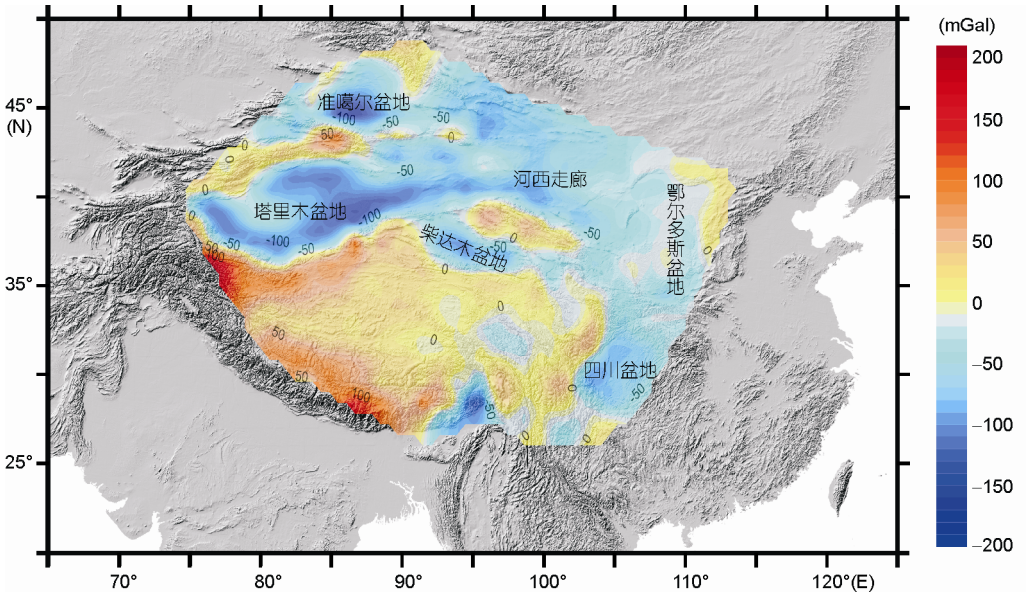

图 4　环青藏高原盆山体系自由空气重力异常(1°×1°)

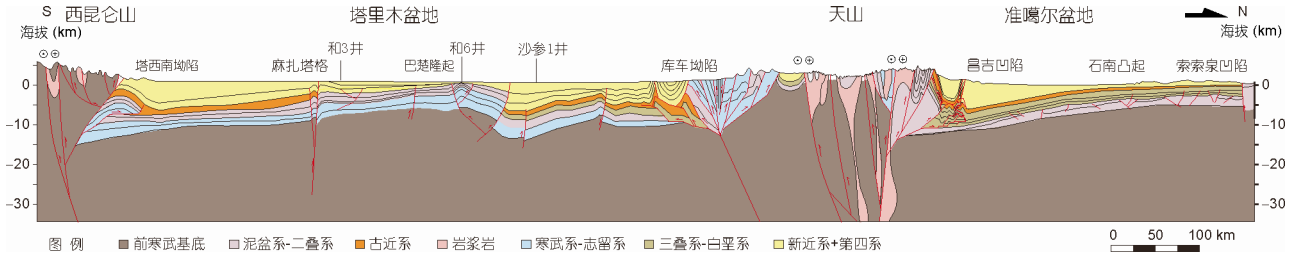

图 5　昆仑山-塔西南-库车-天山-准南-准噶尔盆地北缘区域大剖面

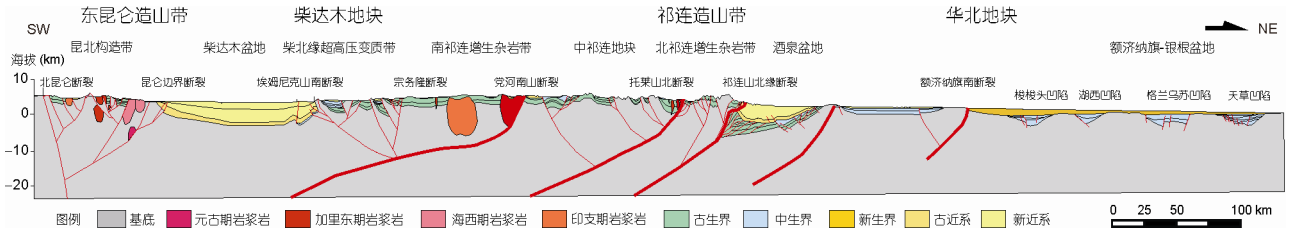

图 6　东昆仑山-柴达木盆地-祁连山-酒泉盆地-阿拉善地块区域构造大剖面

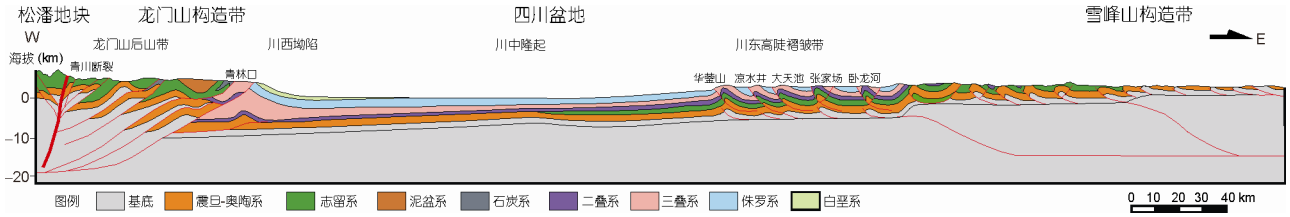

图 7　龙门山-四川盆地-雪峰山区域构造大剖面

新世晚期); 库车地区的南天山山前单斜带(中新世早期)、克拉苏褶皱-冲断带(晚中新世-上新世)和秋里塔格褶皱-冲断带(更新世)(李本亮等, 2011); 准南地区的北天山山前单斜带(10~8 Ma, 郭召杰等, 2006, 2007)、霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁背斜带(2.5 Ma, Charreau 等, 2005)、西湖-独山子-安集海-呼图壁背斜带(0.78 Ma, Charreau 等, 2005). 褶皱-冲断构造的发育由造山带向前陆方向逐渐变新.

区域上, 该段传播的构造变形整体表现出从南向北前陆盆地沉降幅度和前陆冲断带变形强度逐渐减弱的特征. 新生代的构造缩短量所反映的变形强度以及隆升山体和新生界底部埋深高差所反映的盆山耦合程度、克拉通盆地被改造程度向外围依次降低(李本亮等, 2007)(表 1). 塔西南地区从昆仑山前缘到巴楚隆起前陆冲断带变形范围达到 200 km、冲断构造缩短量约 80 km, 新生代以来昆仑山的隆升和盆地的沉降之间存在近 20 km 的盆山高差; 柯坪地区前陆冲断带变形范围

表 1　环青藏高原盆山体系西段盆-山结构统计数据 a)

地区	塔西南	柯坪-库车	准南	准噶尔北缘
山体海拔	6.5	3.5	2.0	1.5
古近系底界埋深	−13	−4.5	−4.5	0.3
高差	19.5	8.0	6.5	1.2
沉积盆地基底埋深	20	11	8	0
冲断变形范围	200	60	30	10
冲断构造缩短量	80	30	20	0

a) 高差指现今山体顶界到古近系底界之间的最大高程差. 单位: km

约 120 km, 构造缩短量约 50 km, 盆山高差约 11 km; 库车地区前陆冲断带变形范围 60 km, 构造缩短 30 km, 盆山高差约 8 km; 准南前陆冲断带变形范围 30 km, 构造缩短约 19 km, 盆山高差约 6.5 km; 准噶尔西北缘前陆冲断带变形范围 15 km, 盆山高程差 1.2 km, 构造缩短不明显(单斜).

2.2 环青藏高原盆山体系中段

环青藏高原盆山体系的中段以高原增生为特征. 受青藏高原的隆升和强烈推挤的影响, 高原的边界从昆仑山向外扩展到祁连山的北缘, 柴达木盆地被改造、抬升成为高原的一部分, 祁连山北缘的酒泉盆地在冲断荷载下挠曲沉降, 发育为前陆盆地. 喜马拉雅构造运动持续向北的推进使得祁连山最终推覆于北侧的酒泉再生前陆盆地之上, 冲断变形的影响范围到达额济纳旗南缘, 代表目前青藏高原扩展的最前锋(图 6). 新生代的阿拉善-额济纳旗地块保持相对的构造稳定性.

该段祁连山南北两侧的柴达木盆地和酒泉盆地在新生代早期表现为凹陷型湖盆, 受祁连山、昆仑山以及阿尔金山强烈隆升推覆的影响相对较晚, 且构造响应方式也不相同. 柴达木盆地内对周围山系隆升的响应主要表现为区域抬升、沉积不整合和地层变形. 盆地周缘的响应时间较早, 约 14.5 Ma(Jolivet 等, 2001; 王亮等, 2010), 盆地内部则相对较晚, 约 7.0 Ma 之后, 主要形成于 3.0 Ma 之后; 酒泉盆地的晚新生代构造响应主要表现为盆地南缘的构造沉降和冲断推覆. 在 9 Ma 左右, 北祁连断裂开始活动, 自南向北的向酒泉盆地逆冲推覆, 酒泉盆地由凹陷型湖盆转变成为前陆盆地(陈汉林等, 2006). 环青藏高原盆山体系的中段受昆仑山和祁连山的对冲挤压作用和阿尔金左行走滑构造控制, 发育逆冲-走滑构造. 由于沉积盖层的变形受控于基底的抬升、增生和构造改造, 使得深、浅层构造表现出同步变形结构. 该段体现了基底改造和推覆隆升两者兼有的盆山耦合形式.

2.3 环青藏高原盆山体系东段

环青藏高原盆山体系的东段受青藏高原东缘走滑边界的显著控制, 表现为造山带侧向的走滑活动和盆地西缘冲断抬升的构造特征. 四川盆地和鄂尔多斯盆地整体遭受抬升剥蚀, 且表现为临近高原的盆地西侧构造变形强度大, 越靠近青藏高原, 盆山耦合程度越高.

环青藏高原盆山体系东段经历了加里东期以来的多期小克拉通拼贴和造山活动过程. 到新生代, 随着青藏高原东部的强烈抬升, 松潘地块卷入到高原的整体变形之中, 一些古造山带复活并产生向东的推挤. 在晚新生代, 古造山带的向东推挤受到了克拉通刚性块体的阻碍, 发育成以大型走滑为特征, 兼具冲断作用的构造边界, 如龙门山构造带、鲜水河-小江构造带、红河-哀牢山构造带等, 致使正向冲断构造位移量减小, 造山物质向南流动逸出(Molnar 等, 1993; 崔军文等, 2006; 张培震等, 2006). 陆内变形在四川盆地和鄂尔多斯盆地表现为克拉通基底的整体抬升, 剥露出白垩系及更老的沉积地层; 但其周缘并无新生代再生前陆盆地和明显的前渊沉积伴生, 而是以山前发育新生的冲断-褶皱构造来改造早期的克拉通或前陆盆地(图 7).

区域上, 褶皱-冲断改造的陆内变形从造山带向克拉通方向推进. 四川盆地前陆冲断带的构造地质建模和平衡恢复分析表明, 自西向东的构造缩短率逐步减小: 西部 44.74%, 中部 33.7%, 东部与川东构造带交界处仅为 9%. 此外, 在作为环青藏高原盆山体系东段主要组成部分的川西和川北地区, 陆内冲断构造变形在体现从青藏高原向外围扩展的同时, 也显示出从龙门山到秦岭地区有一定序列变化. 盆-山结构的统计数据表明(表 2), 从近青藏高原的川西南到远离它的川西北及米仓山-大巴山地区, 高原挤压效应产生的新构造变形强度、变形范围、盆山耦合程度等依次降低(李本亮等, 2011).

3 环青藏高原盆山体系与天然气大气区

3.1 含油气构造单元及构造控藏作用

从上文中可以看出, 环青藏高原巨型盆山体系主要由古生界小型克拉通盆地(塔里木、准噶尔、柴达木、四川和鄂尔多斯等)、喜山期复活的海西-印支期古造山带(天山、昆仑山、祁连山、龙门山、秦岭、阿尔金山和贺兰山等)以及介于上述克拉通盆地与相邻造山带之间的前陆盆地等三大构造单元组成. 其中油气勘探的主要领域是古生界克拉通盆地和中、新生代前陆盆地这两个基本构造单元, 而金属矿产资源

表 2 环青藏高原盆山体系东段盆-山结构统计数据 a)

地区	川西南	川西北	米仓山前
山体海拔	4.5	2.5	1.8
白垩系底界埋深	–1.0	–0.9	–0.7
高差	5.5	3.4	2.5
冲断带宽度	120	30	18
冲断构造缩短量	18	7.5	5.8

a) 高差指现今山体顶界到白垩系底界之间的最大高程差. 单位: km

勘探的主要领域则是复活的造山带. 据最新资评, 环青藏盆地体系内天然气资源量 33.4 万亿方, 占全国总量的60%. 截止2010底, 其中探明储量3.3万亿方, 占全国总量的90%; 年产量725亿方, 占全国总量的77%.

环青藏高原巨型盆山体系内差异的构造结构和沉积响应过程对中国中西部含油气盆地的发育及其油气藏分布具有重要控制作用(表 3). 在新生代, 西段的塔里木、准噶尔盆地表现出克拉通边缘双边或单边挠曲沉降、冲断隆升等盆山耦合形式, 导致塔里木盆地和准噶尔盆地南缘之上叠加发育晚期前陆盆地. 这一特征影响了西段地区的成藏结构和过程, 成藏层位从新变老, 主要的成藏期由晚到早, 例如塔西南、库车地区等主要表现为晚期生烃、晚期成藏; 准噶尔盆地南缘主要为燕山期成藏、晚期调整; 更北侧的准噶尔盆地北缘主要为燕山期保存下来的油气藏; 中段柴达木、酒泉等盆地受青藏高原的推挤、增生, 柴达木盆地被挤压破坏, 增生的青藏高原前缘形成新生代酒泉前陆盆地, 油气成藏层位为新生代地层, 表现为晚期成藏; 东段四川、鄂尔多斯等盆地表现为盆缘冲断、盆内抬升剥蚀, 早期前陆盆地被改造, 不发育新生代前陆盆地. 其油气成藏层位老, 以早期成藏、晚起调整为特征.

3.2 前陆盆地天然气大气区

受青藏高原隆升-推挤作用影响, 体系内受多个古造山带隆升和挤压, 在相邻克拉通盆地边缘形成了 10 多个前陆盆地和前陆冲断带. 从成藏结构上看, 三叠纪至古近纪, 中西部克拉通盆地边缘上发育了一系列坳(断)陷型陆相盆地, 其中充填含煤系的湖沼相砂泥岩和含膏盐质泥岩的河流相红色砂泥岩. 特别是中、下侏罗统暗色泥岩和煤系地层成为塔里木盆地周缘的前陆冲断带中主要的烃源岩; 三叠系、晚侏罗统-白垩系几乎都有发育红色砂泥岩或砾岩的粗粒碎屑沉积, 成为主要的储集层; 古近纪炎热干旱条件下沉积的湖沼相含膏盐质泥岩, 成为油气富集成藏的关键封盖层. 新近纪以来, 前陆坳陷快速堆积了巨厚的磨拉石沉积, 加速了下伏中生代烃源岩的生、排烃, 同时冲断构造的强烈发育促进晚期快速成藏.

塔里木克拉通边缘构造变形强烈, 形成大规模的库车、塔西南、塔东南等前陆逆冲带, 各个冲断带内部受基底和滑脱层的控制向前陆方向形成多排构造带, 其中发育叠瓦构造、断层传播褶皱、断层转折褶皱和凸起构造等各类构造圈闭样式(图 8). 这些构造带和构造圈闭与中、新生代前陆盆地油气成藏形成了良好的时空配置关系, 并形成了大规模的油气资源. 例如库车地区的大北-克拉苏大气区, 目前发现天然气地质储量 10000 亿方. 其中“西气东输”的主要气源供给气田——克拉 2 大气田, 探明含气面积 47 km^2, 气藏气柱高度达 500 m, 探明地质储量 2840.29 亿方, 可采储量 2290 亿方, 年产天然气量 109 亿方. 另外, 在前陆盆地的前缘斜坡带成为天然气运移聚集的趋势面, 但是由于构造平缓, 气柱高度小, 无明显的气水分异, 形成大面积、低丰度的岩性、地层天然气大气区, 例如川中须家河大气田, 目前探明天然气地质储量达到 5000 亿方.

3.3 古生界克拉通盆地天然气大气区

克拉通盆地以地壳稳定、断裂少见、褶皱不发育和仅表现为均衡升降及海进、海退为特征. 克拉通盆地内部, 其中控制油气成藏的地质条件和富集规律的主要是古生代克拉通层序. 但中西部克拉通盆地规模相对小, 同时经历了多期复杂构造过程, 表现出构造运动频繁, 甚至断裂岩浆活动, 克拉通内稳定层序经过多期次、多成因的改造. 因此, 中西部克拉通盆地除具有国外大型克拉通盆地构造的早期相对稳定性外, 晚期的不稳定性也是它的典型特点之一, 其含油气性更具复杂性, 具有多油气系统、高成熟烃源

表 3 环青藏高原盆山体系内含油气盆地的油气藏发育特征

构造模式	构造变形传播	增生-推覆	走滑-隆升
分布区域	西段	中段	东段
构造变形	从南向北, 构造变形减弱, 盆缘沉降幅度减低	高原增生, 前缘新生前陆盆地	边界走滑-冲断, 盆地隆升改造
盆地响应	南部叠加前陆盆地, 北端早期前陆盆地	新生型前陆盆地	改造型前陆盆地
控藏作用	从南向北, 成藏层位从新变老, 成藏期由晚到早	成藏层位新, 成藏期晚	成藏层位老, 成藏期早
典型地区	塔里木、准噶尔、吐哈	柴达木、酒泉	四川、鄂尔多斯

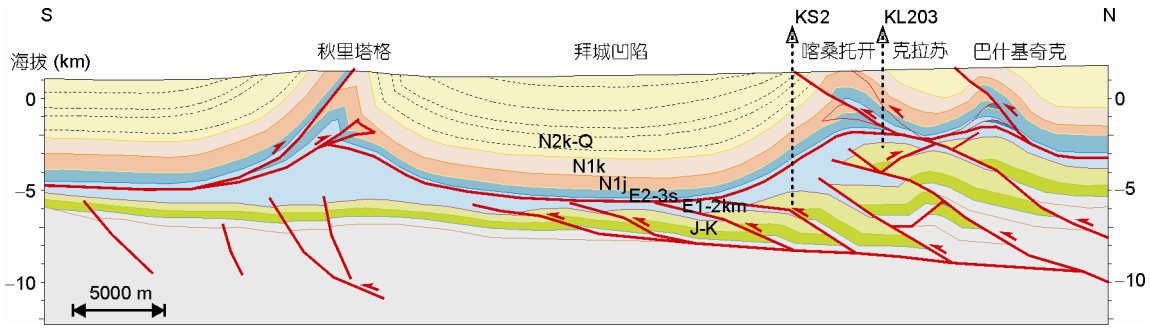

图 8　库车前陆冲断带区域构造地质剖面

岩、多期成藏-晚期定型的特点.

克拉通盆地的早期稳定演化阶段使得大型继承性古隆起及斜坡构造成为油气富集的有利部位. 古隆起控油气的主要原因有三点: 古隆起是天然气运聚的有利指向区; 古隆起有利于风化壳储层的发育; 古隆起有利于形成非构造圈闭. 例如晚加里东期形成的塔中古隆起控制了沉积间断和地层剥蚀, 发育了第一期广泛分布的风化壳型岩溶储层. 中 1 井上奥陶统良里塔格组中下部直接超覆于鹰山组下部, 塔中 162、塔中 451、塔参 1 等井都钻揭下奥陶统风化壳. 碳酸盐岩间缺失中奥陶统大湾-庙坡-牯牛潭阶牙形石, 而南北两侧凹陷中的塔中 29、塘参 1 井均发现了中奥陶统化石. 从塔中 451、塔中 452、塔中 35 井与塔中 162、塔中 12 等井的钻探分析可见西部地区上奥陶统地层西薄东厚, 而且中央断垒带西部下奥陶统塔中 2、塔中 19 等井的剥蚀量大于东部塔中 1、塔中 3、塔中 5 等井, 表明塔中隆起西高东低, 西部地区成为寻找下奥陶统风化壳型储层油气藏的领域.

克拉通的台缘高能相带礁滩体是岩性油气藏富集的主要场所. 自从 2003 年塔中 62 井获得重大突破, 揭开了塔中 I 号上奥陶统良里塔格组台缘礁滩复合体油气勘探的序幕. 目前通过钻探和 3D 地震勘探, 已经落实塔中 I 号断裂带北斜坡的台缘礁滩体长约 220 km、宽约 2~8 km、厚度 100~500 m, 有利勘探面积 827 km^2, 预计储量规模为: 油 2.34 亿吨、气 1950 亿方, 合计 4.3 亿吨. 目前已经获得探明和控制储量含油气分布面积 530 km^2, 油气地质储量 2.106 亿吨 (油 1.156 亿吨, 气 1177 亿方). 上奥陶统良里塔格组台缘礁滩复合体为岩性油气藏类型, 油气成藏与富集受控于储集层的物性.

具有多期成藏与晚期定型的普遍规律. 小型克拉通内部发育的烃源岩具有分布范围广、形成时代早、有机质类型多和成熟度高等特点, 伴随着后期多期的复杂构造运动作用, 表现出油气成藏的多期性和多样性. 塔里木盆地由于油气生成的多源性、多阶性和新生代构造的复杂性等因素的相互影响, 使得油气成藏具有多期并存与晚期定型的特点(贾承造, 2005; 贾承造等, 2006). 在塔里木盆地克拉通地区, 古生界分布有中下寒武统、中上奥陶统和石炭系等多套多类型的优质烃源岩, 但从分布规模来看寒武系烃源岩应该是最优质的烃源岩. 在塔东地区寒武系烃源岩实测的成熟度 R_o 值为 1.7%~3.61%, 已处于高-过成熟阶段. 因此, 在不同时期经历了原油、凝析油和天然气的生成过程, 各阶段生成的油气由于经历了后期的多期次构造作用在克拉通地区的隆起区形成不同期次的油气藏. 早海西期、晚海西-印支期是现存古生界油藏的主要形成时期, 喜马拉雅期是早期油藏发生调整形成次生油气藏的主要时期, 同时也是气藏和凝析气藏形成的主要时期. 因此, 塔里木盆地克拉通地区至少存在三期油气成藏期, 但是由于油气的流动性, 以晚期定型为主.

4　结论

环青藏高原盆山体系是一个巨型陆内盆山体系, 是我国新构造运动的重要单元, 面积达到 550 万平方公里, 包括塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木、酒泉、四川和鄂尔多斯等沉积盆地和天山、昆仑山、祁连山、秦岭、龙门山等山脉. 环青藏高原盆山体系是巨型挤压性陆内盆山体系、是印度-欧亚大陆碰撞及持续推挤运动的结果, 我国古亚洲构造域小克拉通拼合的软弱基底是构成盆山体系分异的内因.

环青藏高原盆山体系是全球最大的陆内盆山体

系之一, 具有独特的地质结构与地球动力学特点, 应该与青藏高原一样受到重视. 盆山体系的盆地群具有良好的油气地质成藏条件, 蕴藏着我国 60%以上的天然气资源, 环青藏高原盆山体系内部的含油气盆地群是我国最大的天然气富集区, 有望成为世界级的大气区, 应加快勘探开发与科学研究.

致谢 本文在研究过程中得到了浙江大学肖安成教授、南京大学贾东教授和浙江大学陈汉林教授的帮助和支持; 在与浙江大学杨树锋教授、北京大学郭召杰教授、中国石油勘探开发研究院魏国齐教授、北京大学张进江教授的讨论中获得了有益的启发; 同时, 审稿专家对本文进行了认真审阅, 提出了宝贵的建议, 在此表示真诚的感谢.

参考文献

陈汉林, 杨树锋, 肖安成, 等. 2006. 酒泉盆地南缘新生代冲断带的变形特征和变形时间. 石油与天然气地质, 27: 488–494
崔军文, 张晓卫, 唐哲民. 2006. 青藏高原的构造分区及其边界的变形构造特征. 中国地质, 3: 256–267
郭召杰, 邓松涛, 魏国齐, 等. 2007. 天山南北缘前陆冲断构造对比研究及其油气藏形成的构造控制因素分析. 地学前缘, 14: 123–131
郭召杰, 张志诚, 吴朝东, 等. 2006. 中、新生代天山隆升过程及其与准噶尔、阿尔泰山比较研究. 地质学报, 80: 1–15
贾承造, 何登发, 石昕, 等. 2006. 中国油气晚期成藏特征. 中国科学 D 辑: 地球科学, 36: 412–420
贾承造, 魏国齐, 李本亮. 2005. 中国小型克拉通盆地群的叠合复合性质及其含油气系统. 高校地质学报, 11: 479–492
贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等. 1995. 盆地构造演化与区域构造地质. 北京: 石油工业出版社. 174
贾承造, 杨树锋, 陈汉林, 等. 2001. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气. 北京: 石油工业出版社. 162
贾承造, 杨树锋, 魏国齐, 等. 2008. 中国环青藏高原新生代巨型盆山体系构造特征与含油气前景. 天然气工业, 28: 1–11
贾承造. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社. 295
贾承造. 2005. 中国中西部前陆冲断带构造特征与天然气富集规律. 石油勘探与开发, 32: 9–15
贾承造. 2007. 中国喜马拉雅构造运动的陆内变形特征与油气矿藏富集. 地学前缘, 14: 96–104
贾承造. 2009. 环青藏高原巨型盆山体系构造与塔里木盆地油气分布规律. 大地构造与成矿学, 33: 1–9
李本亮, 陈竹新, 雷永良, 等. 2011. 天山南缘与北缘前陆冲断带构造地质特征对比及油气勘探建议. 石油学报, 32: 395–403
李本亮, 贾承造, 庞雄奇, 等. 2007. 环青藏高原盆山体系内前陆冲断构造变形的空间变化规律. 地质学报, 81: 1200–1207
李本亮, 雷永良, 陈竹新, 等. 2011. 环青藏高原盆山体系东段新构造变形特征——以川西为例. 岩石学报, 27: 636–644
李春昱. 1982. 亚洲大地构造图说明书. 北京: 地质出版社. 95
潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社. 218
邱中建, 龚再升. 1999. 中国油气勘探(第一卷). 北京: 石油工业出版社. 194
王亮, 肖安成, 巩庆霖, 等. 2010. 柴达木盆地西部中新统内部的角度不整合及其大地构造意义. 中国科学: 地球科学, 40: 1582–1590
肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 等. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京: 北京科学技术出版社. 150
杨树锋, 贾承造, 陈汉林, 等. 2002. 特提斯构造带的演化和北缘盆地群形成及塔里木盆地天然气勘探前景. 科学通报, 47(增刊): 36–43
张恺. 1991. 论中国大陆板块的裂解漂移碰撞和聚敛活动与含油气盆地的演化. 新疆石油地质, 12: 91–106
张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 2006. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. 第四纪研究, 26: 5–13
朱夏. 1986. 论中国含油气盆地构造. 北京: 石油工业出版社. 132
Allegre C J, Courtillat V, Tapponnier P, et al. 1984. Structure and evolution of Himalaya-Tibet orogenic belt. Nature, 307: 17–22
Bally A W, Snelson S. 1980. Realms of Subsidence. In: Miall A D, ed. Facts and Prinlciples of World Petroleum Occurrence. Calgary: Can Soc Pet Geol Mem, 6: 9–94
Charreau J, Chen Y, Gider S, et al. 2005. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the Neogene kuitunhe section (Northwest China): Implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshan Mountains. Earth Planet Sci Lett, 230: 117–192
Dewey J F, Burke K. 1973. Tibetan variscan and pre-Cambrian basement reactivation: Products of continental collision. Geology, 81: 683–692
Graham S A, Hendrix M S, Wang L B, et al. 1993. Collisional successor basin of western China: Impact of tectonic inheritance on sand composition. Geol Soc Am Bull, 105: 323–344
Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. 1992. Raising Tibet. Science, 255: 1663–1670
Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. 1994. Late Oligocene-Early Miocene un-roofing in the Chinese Tien Shan: An early effect of the India-Asia collision. Geology, 22: 487–490

Jolivet M, Brunel M, Seward D, et al. 2001. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northern edge of the Tibetan Plateau: Fission-track constraints. Tectonophysics, 343: 111–134

Lu H F, Howell D G, Jia D. 1994. Rejuvenation of the Kuqa Foreland basin, northern flank of the Tarim Basin, Northwest China. Int Geol Rev, 36: 1151–1158

Molnar P, England P, Martinod J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibet Plateau, and the Indian monsoon. Rev Geophys, 31: 357–396

Molnar P, Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. Science, 189: 419–426

Tapponnier P, Peltzer G, Ledain A Y, et al. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plastic. Geology, 10: 611–616

Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, et al. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. Science, 94: 1671–1677

Wang Q, Zhang P Z, Freymueller J T, et al. 2001. Present day crustal deformation in China constrained by global positioning system measurements. Science, 294: 574–577

Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. Annu Rev Earth Planet Sci, 28: 211–280