

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0156- 06

中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议

郑和荣, 李铁军, 蔡立国, 龙胜祥
(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 中国中西部前陆冲断褶皱带地处欧亚大陆腹地, 随欧亚大陆的增生而经历了元古代以来的多次构造旋回及多幕次的构造运动, 其中喜马拉雅期的陆内造山作用使天山两侧、昆仑山北侧等中西部前陆冲断褶皱带最终定型。独特的构造背景和演化历史决定了中国中西部前陆冲断褶皱带主要发育以三叠系、侏罗系煤系和泥质岩为主的陆相烃源岩; 长期的生排烃历史和晚期定型的构造圈闭决定了其多期成藏、晚期为主的成藏特征; 而后期保存条件好、优质盖层发育的区带为油气成藏的有利地区。中国中西部前陆冲断褶皱带的特殊性决定了其在勘探上既要借鉴国外相似领域的勘探经验, 更应加强中国前陆冲断褶皱带油气成藏条件、成藏特征的理论探索和相应的配套技术攻关。

关键词: 前陆冲断褶皱带; 陆内前陆盆地; 油气地质特征; 勘探建议

中图分类号: TE122. 1 文献标识码: A

Petroleum geologic conditions in foreland thrust-fold belts in west-central China and proposals for exploration

Zheng Herong Li Tiejun Cai Liguang Long Shengxiang

(Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract: The foreland thrust-fold belts in west-central China are located in the hinterland of Eurasia. They have experienced multiple tectonic cycles and multiple episodes of tectonic movements since Protozoic along with the accretion of Eurasia. The Himalayan intracontinental orogeny finalized the foreland thrust-fold belts on both sides of Tian Shan and on northern side of Kunlun mountain. Continental source rocks, composed mainly of Triassic and Jurassic coal measures and argillaceous rocks, are developed in these foreland thrust-fold belts due to the unique tectonic setting and evolution history. The oil and gas pools in this area are characterized by multistage and mainly late stage hydrocarbon accumulations, as a result of long hydrocarbon generation and migration history and structural traps finalized in the late stage. Areas with good preservation conditions and well-developed cap rocks are favorable for hydrocarbon accumulation. Efforts should be focused on theoretical study of the unique hydrocarbon accumulation conditions and features in the foreland thrust-fold belts in west-central China and on the relevant technological research, in addition to drawing on foreign exploration experiences in similar regions.

Key words: foreland thrust-fold belt; intracontinental foreland basin; petroleum geological feature; exploration proposal

典型的前陆盆地可分为周缘前陆盆地和弧后前陆盆地两种^[1], 而我国学者根据中国中西部陆内造山的特点, 在 Dickinson 分类的基础上将与之对应的前陆盆地称为陆内前陆盆地^[2~4]。与前陆盆地分类相对应, 冲断褶皱带可相应地分为 3 类:

一是与周缘前陆盆地有关的冲断褶皱带, 是陆-陆碰撞的结果, 主要与 B 型俯冲有关, 如喜马拉雅带(印度、巴基斯坦)、扎格罗斯带、西阿尔卑斯带和南比利牛斯带、沃希托冲断褶皱带等; 二是与弧后前陆盆地有关的冲断褶皱带, 乃陆-弧碰撞所

基金项目: 国家自然科学基金项目(40102020)

第一作者简介: 郑和荣, 男, 41 岁, 教授级高级工程师, 石油地质综合研究及生产部署

收稿日期: 2004- 02- 28

致,与 Bally 和 Snellson^[5]的“A”型俯冲有关,如北美洲西部的落基山冲断褶皱带、布鲁克斯山冲断褶皱带、南美的东委内瑞拉冲断褶皱带和东科迪勒拉-亚诺斯冲断褶皱带等;三是与陆内前陆盆地有关的冲断褶皱带,其形成是由于新特提斯洋消减及南大陆板块(非洲-阿拉伯-印度)与欧亚板块碰撞在后者陆内产生的远程效应所致,与“C”型俯冲有关,其实例有中国西部的天山、昆仑山和祁连山等冲断褶皱带。

1 构造演化特征

与典型前陆盆地和冲断褶皱带相比,中国中西部陆内前陆盆地和冲断褶皱带在构造背景和演化历史上均有较大差异。

1.1 时空发育特征

中国在构造上地处欧亚板块东南部,夹持于太平洋板块、印度板块和西伯利亚板块之间。在漫长的地质历史中随欧亚大陆的增生,并随着特提斯洋的消亡与太平洋的俯冲,遭受叠加改造形成了一系列前陆盆地及冲断褶皱带。

在空间上,中国冲断褶皱带具有一定的分布和演化规律。大体上是以准噶尔、阿拉善、华北、塔里木、柴达木、扬子、羌塘、拉萨诸地块间的开、合旋回为背景,形成以天山-兴安、昆仑-秦岭-大别和喜马拉雅等3个巨型的纬向造山带为中心,在各自的南北两侧发育大规模的逆冲推覆作用,并在造山带前缘出现成排成带分布的纬向构造带;同时发育受地块边界限制的近南北向(鄂尔多斯盆地西缘贺兰山山前)、北东向(四川盆地西缘龙门山山前)的冲断褶皱带。对于同一构造带,在其不同的构造段,受极性变化(俯冲方向变化)、沉积地层及区域构造应力场等因素的影响,往往发育具有不同特征的构造。

在时间上,不同造山带及其前陆冲断褶皱带的形成演化历史也不甚一致,总体上具有随欧亚大陆的向南增生而时代逐渐变新的特征;在同一造山带上,则表现为多旋回的开、合运动,形成复合造山带。如中国西部的天山造山带,其形成演化可分为两大阶段,古生代期间为俯冲碰撞造山带形成阶段,由加里东期及海西期造山带复合而成;新生代期间受印度板块与欧亚大陆的碰撞影响,发生陆内造山活动,产生的推覆冲断作用和走滑作用使天山强烈隆升,形成了剖面上总体呈扇

形的结构,并且在其南北两侧发育新生代陆内前陆盆地^[6]。与此相类似,秦岭造山带也经历了原生造山和陆内造山两个阶段:晚元古代-中三叠世是板块俯冲碰撞造山的主要时期,但在主造山期后,秦岭造山带并未平静稳定下来,而是又发生了强烈的陆内造山作用,今天的秦岭山脉是其在主造山期板块构造所奠定的基本构造格架基础上,由中生代强烈陆内造山所造成的^[7]。

1.2 多期构造运动和晚期陆内造山作用的叠加

中国大陆由20多个大小不等的前晚元古代陆块(或曰板块、克拉通、地块)和其周邻构造带拼贴而成。其中最大的3个陆块是华北(中朝)、扬子和塔里木克拉通,其现今面积分别约 $170 \times 10^4 \text{ km}^2$, $120 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $62 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。与世界上其他陆块相比,中国的陆块要小得多,如北美、俄罗斯克拉通的面积分别为华北克拉通的12.5倍和5倍,分别为扬子克拉通的20倍和7倍^[8]。相对于大陆块而言,中国小陆块最为显著的特征是其活动性较强,其深部作用总体受边缘构造活动带的影响大,不同块体之间的相互作用密切且显著^[9]。

从演化历史分析,中国各冲断褶皱带也经历了多期构造运动,元古代以来,就经历了中条(吕梁)、扬子(晋宁)、兴凯、加里东、华力西、印支、燕山和喜马拉雅8大构造旋回。每期构造旋回又可分为好几个幕次的造山或裂陷运动^[10]。多期次的构造运动构成了中国冲断褶皱带乃至中国大陆构造演化的显著特征,如天山造山带在形成演化过程中经历了海西、印支-燕山和喜山3次大的构造运动,秦岭造山带经历了印支-燕山和喜山期多次构造运动。多旋回的构造运动直接影响了中国冲断褶皱带的构造特征与油气成藏特征,而世界上其他造山带及其冲断褶皱带,如乌拉尔在海西期对接、扎格罗斯在喜马拉雅期对接,在显著的造山运动前后,两侧盆地正常发展,后期改造轻微,都是在一个大旋回中基本定型,或者前一个旋回开始,在下一旋回中最后完成。这种单一的构造演化特征有利于巨型油气区的形成和保存。

陆内造山是中国大地构造的另外一个显著特征,其结果是直接影响到冲断褶皱带的演化及特征。如西部的天山造山带,虽然南、北天山洋在晚古生代晚期分别闭合,但在当时并没有发生显著的碰撞造山作用,天山造山带大规模隆升可能是新生代、尤其是中新世以来,印度板块与欧亚板块

碰撞后所造成的远程效应的结果,其南北两侧的冲断褶皱带也是在这一时期形成并最终定型的。

1.3 构造格局

受印度板块和太平洋板块碰撞挤压作用的影响,中国大陆在新生代以来大致以太行山-紫荆关断裂-齐岳山断裂为界,断裂带以西发育与陆内造山活动有关的冲断褶皱带及前陆盆地,如鄂尔多斯西缘的贺兰山冲断褶皱带、龙门山冲断褶皱带、祁连山南北冲断褶皱带、天山南北冲断褶皱带、东西昆仑冲断褶皱带;断裂带以东,主要受太平洋板块向欧亚板块俯冲作用的影响,发生伸展断陷,在冲断褶皱带及前陆盆地之上叠加了断陷盆地,如南襄盆地、合肥盆地、莱阳盆地、江汉盆地、金衢盆地、弋阳盆地等。

在西部地区,随着欧亚大陆的逐步拼贴、挤压强度逐渐增大,且由于块体规模较小而造山带规模相对较大,由此造成了在造山带与块体之间冲断褶皱带较为发育,从而使前陆盆地部分或整体卷入褶皱冲断活动。如在塔里木盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地、酒泉盆地等受前陆褶皱冲断活动的影响,前陆盆地被冲断褶皱带所逆掩,盆地被极大的压缩,其结果一方面是促使油气的继续生成,另一方面则可能导致先期形成的油气藏遭受调整或改造,从而在冲断褶皱带构成复杂的油气富集带。

在东部地区,古生代、中生代盆地不论是持续沉降的上扬子四川盆地,还是中扬子的江汉盆地和下扬子的苏北盆地,以及华北南部盆地,早期(印支期、燕山早期)在冲断褶皱带运聚成藏的油气被晚白垩世-老第三纪走滑伸展构造背景下发育的断陷盆地所叠加改造,而第四系与下伏地层之间广泛发育的不整合说明了喜山期构造活动的强度。在这种强烈的构造活动背景下,盆地被肢解并遭受剥蚀,先期形成油气藏的油气重新分配,增加了油气勘探的复杂性与艰巨性。

2 油气地质特征

2.1 陆相烃源岩

多期造山作用和陆内冲断褶皱变形导致了我国中西部地区出现两期甚至多期前陆盆地^[11]。在中西部地区盆地形成演化的早期,由于各盆地所处构造背景的不同,前陆盆地发育的时期、规模和范围也不一致,但对于最新一期的前陆盆地,主要形成于新生代晚期,是印度板块和欧亚板块碰撞

的远程效应,其形成机制是陆内造山作用,因此国内学者称之为陆内前陆盆地^[2,3]。

多期前陆盆地的形成演化历史造成了其沉积特征及烃源岩发育情况与典型前陆盆地的差异。典型前陆盆地及其冲断褶皱带一般经历了被动大陆边缘和前陆盆地的演化阶段,其沉积序列为深海-半深海海相复理石、海相磨拉石和陆相磨拉石。其中在前陆盆地形成前被动大陆边缘沉积的深海-半深海海相复理石沉积富集了优质烃源岩,如前扎格斯盆地中生界被动陆缘烃源岩有机质丰度为2.0%~11.0%、阿尔伯达盆地前前陆盆地海相烃源岩有机质丰度在2.0%~24.3%;被动大陆边缘烃源岩提供了丰富的油气资源,如波斯湾周缘前陆盆地的油气全部来源于被动大陆边缘阶段的沉积,而加拿大的阿尔伯达盆地的油气也至少有55%来自被动陆缘沉积。我国前陆盆地,尤其是陆内前陆盆地不发育深海-半深海海相复理石、海相磨拉石沉积,而主要发育河湖相的陆相沉积。对于其烃源岩,虽然也有被动大陆边缘沉积,但从已发现的油气田来看,烃源岩评价及油源对比的结果均表明其油气更多的是来源于陆相烃源岩,尤其是中生界的湖相泥岩或煤系地层(表1)^[12~14]。

2.2 多期成藏、晚期为主

从我国西部库车、淮南、川西等前陆盆地及冲断褶皱带已发现油气藏的成藏期来看,具有多期成藏、晚期为主的特点。多期成藏是由于中西部陆内前陆盆地构造活动的多期性所决定,在油气资源充足的情况下,每期构造运动均对应一期油气成藏过程;而晚期为主的特征则主要由以下几个方面所决定。

(1) 受烃源岩生烃演化的控制,与烃源岩的生排烃时期有关。由前面的分析可知,我国中西部陆内前陆盆地的烃源岩主要为中生界的陆相泥岩或煤系地层,虽然不同盆地烃源岩的热演化历史存在一定的差异,但进入生烃门限的时期较晚是其共有的特征,如在柴达木盆地,其主要烃源岩为中下侏罗统煤系和泥岩。对其热演化的模拟结果表明,进入生油窗的时期为早中新世-更新世^[15];钻探资料表明,吐哈盆地主要烃源岩为下侏罗统八道湾组、三工河组和中侏罗统西山窑组,其中八道湾组和三工河组是成熟-高成熟源岩,西山窑组多数是成熟源岩,但仍有部分是低熟源岩,成熟

表 1 中国中西部前陆盆地及冲断褶皱带演化阶段及烃源岩统计表^[12-14]

Table 1 Statistics of evolution stages and source rocks in the foreland basins and thrust-fold belts in west-central China

盆 地	构造位置	盆地演化阶段	烃源岩
准噶尔	西北缘造山带山前	被动陆缘(C- P ₁) → 前陆(P ₂ - T ₃) → 断陷- 坳陷(J- K) → 陆内前陆(E- Q)	C, P ₁
	南缘北天山山前	被动陆缘(C- P ₁) → 前陆(P ₂ - T ₃) → 断陷- 坳陷(J- K) → 陆内前陆(E- Q)	P ₁ , J ₁₊₂
吐 哈	天山造山带山间	被动陆缘(C ₁ - P ₁) → 前陆(P ₂ - T ₃) → 断陷- 坳陷(J- K) → 陆内前陆(E- Q)	J _{2q} 湖相泥岩和 J ₁₋₂ 煤岩和煤系泥岩
塔里木	北缘南天山山前	被动陆缘(Z- C ₁) → 弧后(C ₂ - P ₁) → 前陆(P ₂ - T ₃) → 断陷(J) → 陆内前陆(K- Q)	T ₃ 泥岩 J ₁₊₂ 泥岩及煤系地层
	西南缘西昆仑、南天山山前	被动陆缘(D ₃ - C) → 弧后(P) → 断陷(J- E) → 陆内前陆(N- Q)	C- P, J ₁₊₂
酒 西	南缘北祁连山山前	断陷- 坳陷(J- K ₁) → 陆内前陆(K ₂ - Q)	J ₃ - K ₁ 湖沼相泥岩
柴达木	北缘南祁连山山前	断陷- 坳陷(T- K) → 陆内前陆(E- Q)	J 煤系 J ₁₊₂ 泥岩
鄂尔多斯	西缘贺兰山山前	克拉通边缘(Z- T ₂) → 陆内前陆(T ₃ - K)	C- P 泥质岩和 T ₃ 湖相泥页岩
四 川	西缘龙门山山前	克拉通边缘(A _n T ₃ ¹⁻²) → 前陆(T ₃ - J) → 断陷- 坳陷(K- Q)	T ₃

度低于下侏罗统, 因此, 盆地内生烃高峰期应当较晚^[16]; 在酒西盆地, 烃源岩热演化的模拟结果表明, 下白垩统烃源岩的主生烃期有早白垩世晚期、晚第三纪以来两期, 但以后期为主^[17]。

(2) 由圈闭的形成时期所决定, 前陆冲断褶皱带以断层相关褶皱为主的圈闭定型时期较晚。从已发现的油气田来看, 前陆冲断褶皱带的圈闭类型以与断层有关的各种褶皱构造为主。对于圈闭的形成时间, 虽然部分构造由于早期的构造挤压作用而在早期形成, 但从油气成藏的角度看, 除准噶尔盆地西北缘、鄂尔多斯盆地西缘和四川盆地龙门山前的构造圈闭在早期形成并聚集油气外, 其余的聚油气构造基本上在新生代、尤其是中新世以后形成的, 如塔西南坳陷柯克亚、桑株、皮牙曼等背斜形成于上新世, 英吉沙、固满等背斜形成于更新世^[18]; 位于库车坳陷北缘的各构造带, 如克拉苏、东秋里塔格背斜等, 其开始形成的时间最早始于中新世^[19], 决定了类似于克拉 2、依南 2 等油气田形成时间肯定是中新世期间或其后。而且, 即使是早期形成的构造, 由于受喜山期构造活动的影响, 可能遭受强烈的破坏, 其作为聚油气构造的定型时期也应当是新生代。

(3) 后期构造活动导致先期油气藏的破坏和调整形成次生油气藏。前陆冲断褶皱带广泛发育断裂构造, 这些断裂既可以作为沟通下部源岩的运移通道, 也可能对先期形成的油气藏进行调整

或破坏, 使油气在新圈闭中重新聚集形成次生油气藏或溢出地表。如在准噶尔盆地南缘, 喜山期由于南北向的挤压应力, 使燕山期古构造及古断裂得到改造并最终定型, 形成现今的 3 排构造带。由于断裂的作用使得下伏侏罗系原生油气藏部分遭到破坏, 油气沿断裂向上运移至浅层的上白垩统第三系储层, 在喜山期圈闭中成藏, 如呼图壁气田等(图 1); 其他盆地的油气田, 如塔里木盆地的柯克亚、柴达木盆地的南八仙等油气田也是受后期断层的改造而形成的次生油气藏。

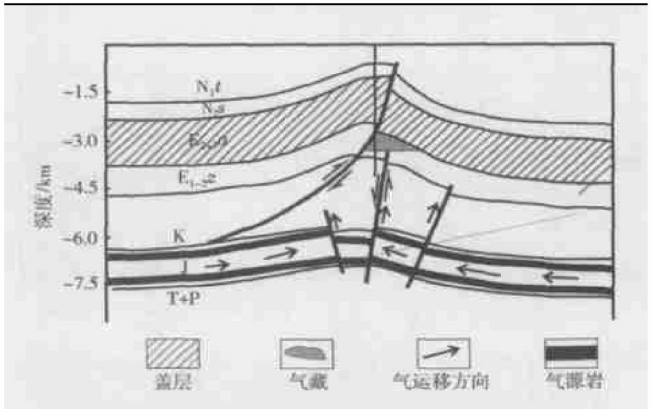


图 1 准噶尔盆地南缘呼图壁气田成藏模式示意图
Fig. 1 Schematic diagram showing reservoiring model of Hutubi gas field on southern margin of Junggar basin

2.3 保存条件

在我国中西部的 9 个主要陆内前陆盆地及其

冲断褶皱带中,除准噶尔盆地西北缘在形成后稳定埋藏,四川盆地西缘在形成后经历弱改造外,其余均遭受了陆内造山作用的叠加和喜山晚期的改造,而从已发现的油气田(藏)的数目和油气储量规模来看,以准噶尔盆地西缘最大,显示出后期改造对油气田规模的影响。但须指出的是,库车前陆盆地克拉2等油气田的发现与其第三系厚层膏盐岩等良好的区域盖层密切相关,而其他不发育膏盐岩盖层的前陆盆地和冲断褶皱带则尚未发现大规模的油气田(藏)。

从已勘探的冲断褶皱带来看,垂直于推覆构造带分带、平行于推覆构造带分段和滑脱面上下分层的现象是冲断褶皱带构造特征的普遍规律。在横向上,由于不同构造带、不同构造段在构造演化、构造位置等方面的差异,导致了油气地质条件及保存条件的不同,从而造成了其勘探前景的不同。一般而言,位于靠近造山带的构造带,如西昆仑山前的柯克亚凝析油气田、南天山山前的依奇克里克油田、北天山山前的齐古油田等油气藏所在的构造带,虽然能够有所发现,但由于这些地区断裂构造活动性较强、切割层系浅甚至通天,后期保存较为不利;而靠近盆地一侧、构造变形相对较弱的构造带,如南天山山前的克拉托-依奇克里克构造带和北天山山前的霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁背斜带,由于构造上相对较为稳定且靠近油源,易于形成大中型油气田(如克拉2、呼图壁等气田),是油气勘探的有利部位(图2)。

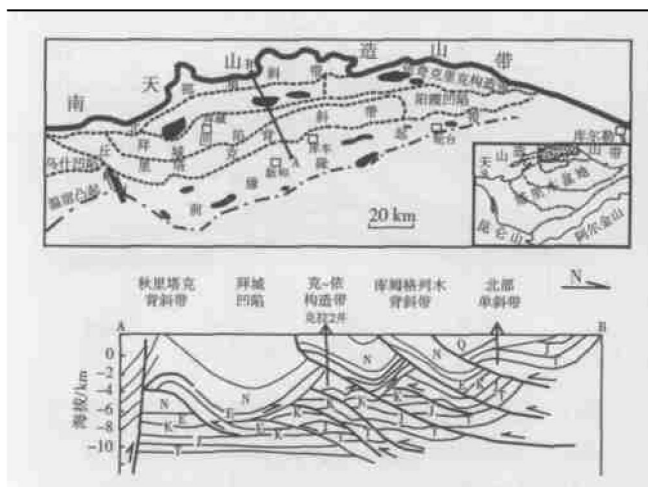


图2 塔里木盆地库车凹陷构造结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing structural framework
in Kuqa depression, Tarim basin
(上图为平面图, 下图为剖面图)

是库车凹陷北缘南天山山前冲断褶皱带的勘探, 该带在 1998 年发现, 探明了克拉 2 气田, 并发现了依南、东秋里塔格等一批含油气构造。

因此, 在我国前陆冲断褶皱带的勘探历史中, 借鉴国外成功经验具有重要的指导意义。但是, 由于中国前陆冲断褶皱带形成演化的复杂性及地质背景的差异性, 又要求我们不能简单地套用国外的经验, 还应针对我国冲断褶皱带的具体特点, 进行积极的探索和研究, 形成一套针对中国冲断褶皱带的勘探思路。

3.2 技术攻关

技术进步是前陆冲断褶皱带油气勘探成功与否的决定性因素。由前面的分析可知, 地质条件复杂、局部构造地表高点与地下高点不一致是前陆冲断褶皱带的显著特征, 而地层倾角大、异常高压发育也是常见的现象^[20]。在这种复杂的地表、地下地质条件下, 没有配套的勘探技术是难以取得勘探的突破的。南天山山前冲断褶皱带的勘探历程充分说明了这一点。

从南天山山前冲断褶皱带的勘探历程来看, 在 1958 年仅依靠野外地质调查即发现了依奇克里克油田, 很大程度上得益于修正了中苏石油公司关于地表露头地层层系的认识, 使得在当时工艺技术条件下能够钻探到目的层。但是在其后近 40 年的时间内无重大进展的原因除受地质认识的局限外, 勘探技术的落后也是主要的制约因素: 由于冲断褶皱带地表和地下地质条件的复杂性, 往往造成冲断褶皱带局部构造上下高点不符或构造样式相差甚大的现象, 西昆仑山前阳 1 井、拓 1 井、乌恰 1 井和南天山山前诸多探井的失利均是地震资料品质差、圈闭不落实造成的。因此, 从油气勘探的角度来看, 就要求对局部构造的细节进行精细刻画, 但是在没有数字地震技术或在山地地震尚未过关的情况下是不可能的, 加上冲断褶皱带经历了多期构造叠加、目的层埋藏深及目的层之上厚度巨大的厚层泥岩、膏泥岩和巨大的构造应力, 给深层钻探带来了很大的困难。1998 年依南 2 井、克拉 2 井的突破主要是针对冲断褶皱带存在的问题, 在引进先进指导思想的同时, 加强了山地地震的采集、处理、解释攻关和钻井工艺的技术攻关, 获得认识和配套技术上的突破, 才取得克拉 2 号、依南 2 号气田的发现和突破。

参 考 文 献

- 1 Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation[A]. In: Dickinson W R. Tectonics and sedimentation[C]. Spec Publ Soc Econ Paleont Miner, Tulsa, 1974, 22: 1~ 27
- 2 高长林, 叶德燊, 钱一雄. 前陆盆地的类型及油气远景[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 99~ 104
- 3 金之钧, 汤良杰, 杨明慧, 等. 中国中西部地区中生代陆内前陆盆地的主要特征[A]. 见: 中国石油勘探与生产公司. 中国中西部前陆冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 47~ 56
- 4 刘池洋, 赵红格, 杨兴科, 等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 307~ 313
- 5 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence[A]. In: Miall A D. Facts and principles of world petroleum occurrence[C]. Can Soc Petrol Mem, 1980, 6: 9~ 75
- 6 刘和甫, 汪泽成, 熊保贤, 等. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 55~ 72
- 7 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 1997, 15(2): 1~ 14
- 8 任纪舜, 蒋廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 82~ 99
- 9 刘池阳, 赵重远, 杨兴科. 活动性强、深部作用活跃——中国沉积盆地的两个重要特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1~ 6
- 10 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——1: 50 万中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- 11 贾承造, 魏国齐, 李本亮, 等. 中国中西部两期前陆盆地的形成及其控气作用[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 13~ 17
- 12 雷振宇, 何登发, 张朝军. 中国中西部类前陆盆地与典型前陆盆地类比及其油气勘探前景[J]. 地球学报, 2001, 22(2): 169~ 174
- 13 张光亚, 薛良清. 中国中西部前陆盆地油气分布与勘探方向[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 1~ 5
- 14 马新华, 魏国齐, 钱凯, 等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 114~ 117
- 15 Ritts B D. 中国西北地区柴达木盆地北部中下侏罗统陆相烃源岩及其含油气系统[J]. 李光云译. 国外油气勘探, 2000, 12(5): 542~ 557
- 16 陈建平, 黄第藩, 李晋超, 等. 吐哈盆地侏罗纪煤系油气主力源岩探讨[J]. 地质学报, 1999, 73(2): 140~ 152
- 17 任战利, 刘池阳, 张小会, 等. 酒泉盆地群热演化史恢复及其对比研究[J]. 地球物理学报, 2000, 43(5): 635~ 645
- 18 何登发. 塔里木盆地新生代构造演化与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 1~ 8
- 19 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等. 库车新生代构造性质和变形时间[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 215~ 221
- 20 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327~ 331