

文章编号: 0253-9985(2005)01-0037-12

试论中国西部陆内俯冲型前陆盆地的基本特征

刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 徐国强, 刘 顺,

王国芝, 徐国盛, 雍自权, 李智武, 孙 玮

(成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川成都 610059)

摘要: 中国西部陆内前陆盆地大多是由陆内(C-型)俯冲形成的。陆内(C-型)俯冲是中国西部大陆构造的一种特殊构造形式,发育在陆内褶皱山系与前陆盆地的结合部位,形成于中国大陆拼接之后。微陆块拼接构成的中国大陆构造是中国西部前陆盆地结构复杂的重要因素;陆内(C-型)俯冲是C-型前陆盆地与C-型造山(冲断)带物质流和能量流循环的内在原因;特提斯洋关闭和印度板块持续推挤是中国西部前陆盆地形成的构造动力学背景。中国西部前陆盆地在成因机制、盆地类型、地质特征及油气成藏等许多方面,与典型的前陆盆地有很大差别。陆内俯冲型(C-型)前陆盆地具有陆相烃源岩、低孔渗性砂岩储层、油气圈闭多样、以喜山期为主多期成藏的特点。

关键词: 俯冲; 前陆盆地; 油气成藏; 中国西部

中图分类号: TE111.1 **文献标识码:** A

Discussion on essential characteristics of intracontinental-

land basins in western China. Intracontinental subduction (C-subduction) was the intrinsic cause of circulation of mass flow and energy flow in type-C foreland basins and type-C orogenic belt (thrust belt). Closing of Tethys and continuous compressing and squeezing of Indian plate were the tectonic dynamics background for the formation of foreland basins in western China. The foreland basins in western China are very different from those typical foreland basins in respects of genetic mechanism, basin types, geologic features and hydrocarbon accumulation. Foreland basins of intracontinental subduction type (type-C) are characterized by continental source rocks, low poroperm sandstone reservoirs, various traps and multiple reservoiring stages mainly in Himalayan period.

Key words: subduction; foreland basin; hydrocarbon accumulation; western China

目前,对中国(中)西部前陆盆地的名称、个数和分布认识很不统一。早在1994年罗志立、刘树根等^[1]在论述C-型俯冲带对中国中西部造山带

形成作用时,提出与C-型俯冲有关的8个前陆盆地:(1)四川盆地西缘;(2)鄂尔多斯盆地西缘;(3)酒泉盆地南缘;(4)柴达木盆地北缘;(5)准噶尔盆

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划项目

第一作者简介: 刘树根,男,40岁,教授,构造地质学和石油地质学

收稿日期: 2004-12-01

地西缘; (6) 准噶尔盆地南缘; (7) 塔里木盆地北缘; (8) 塔里木盆地西南缘。

据发表文献^[2~5]的不完全的统计, 中国前陆盆地共有 20 个。若以大兴安岭-太行山-雪峰山重力梯度带为界, 中国前陆盆地在西部有 18 个, 东部只有 2 个。中国西部前陆盆地又主要集中在六盘山-龙门山-横断山以西地区, 占全中国前陆盆地的 60%。因此, 本文只讨论中国西部的前陆盆地。中国西部的前陆盆地多与冲断带相邻, 本文试图从 A-型俯冲与 C(陆内)-型俯冲的比较分析, 探讨中国西部冲断带和前陆盆地的基本地质特征。

1 陆内俯冲的基本特征

1.1 B-型俯冲和 A-型俯冲

俯冲(subduction)是指一个岩石圈板块下降潜伏(descend)到另一个岩石圈板块之下的过程^[6]。目前, 国际地学界已提出了 3 种俯冲类型: B-型俯冲、A-型俯冲和 C-型俯冲。

B-型俯冲(B-subduction)是为了纪念 Hugo Benioff 而命名的, 是指大洋岩石圈的俯冲^[7]。对 B-型俯冲的认识, 地学界已达成共识。

A-俯冲术语(A-subduction)是由 Bally 提出^[8]。他把弧后缩短过程(retroarc shortening process)称之为 A-型俯冲(A-subduction), 以纪念瑞士地质学家 Ampferer, 并在划分世界大地构造时, 沿东太平洋沿岸划分出与 B-俯冲带相伴生的中生代 A-俯冲带。Bally 等^[9]指出“部分硅铝质地壳物质可能在巨缝合带之下进入中等深度”。然而, 褶皱冲断作用仅使地壳加厚, 硅铝质地壳不能被地幔消耗。因此, 在大陆地壳缩短作用中, 使用 A-型俯冲的概念是误解了命名者的用意^[10]。A-型俯冲不能理解为大陆俯冲或陆内俯冲。事实上, A-型俯冲仅指大陆碰撞带(collision zone)——大陆岩石圈板块向另一大陆岩石圈板块的俯冲作用^[7]。因此, A-型俯冲仍属经典板块构造学的概念(十分重视板块边缘作用), 而不能直接应用到板内或陆内。Bally^[8]明确指出, “蒙古和中国没有和西太平洋的 B-型俯冲相伴的 A-型俯冲”, 1994 年他再次强调“中国没有 A 和 B 型俯冲带”^[11]。不幸的是, A-型俯冲(带)术语被我国地质学家广泛使用^[12~15]。为此, 罗志立在评述 A-俯冲带术语在中国的应用时, 认为在中国大地构造学中使用 A-俯冲这一构

造术语是不恰当的^[16]。

1.2 C-型俯冲

1.2.1 C-型俯冲的提出

罗志立在中国板块构造和含油气盆地研究^[17, 18]的基础上, 认为我国大陆上发现的一些冲断带, 在地质特点和成因机制上与 Bally 所称的 A-型俯冲带有很大的区别, 提出了中国型冲断带(Chinese thrust Belt, 简称 C-型冲断带)的概念^[19]。C-型冲断带的特点有^[19]: (1) 在大地构造位置上处于老的褶皱山系和陆内盆地边缘拗陷之间; (2) 中、新生代陆相沉积厚度巨大, 可达十余公里, 一般没有或很少有类似美国落矶山冲断带(A-型)前缘的中生代海相沉积; (3) 在构造演变上, 冲断带发展前期可能为正断层, 后期转换为逆断层, 因而断面在浅部倾角较大, 深部平缓, 呈凹面向上的犁式, 其水平位移规模可能不大; (4) 从沉积和构造发展史分析, 这类冲断层不是一般所称的上盘主动的仰冲断层(overthrust), 而可能是盆地拗陷边缘向山系潜滑(underplating)形成的俯冲断层(underthrust)。

刘树根等在详细研究龙门山造山带与川西前陆盆地系统形成前的构造背景^[20, 21]和岩石圈深部结构^[22, 23]的基础上, 提出龙门山型俯冲(Longmenshan subduction, 简称 L-型俯冲)的概念^[24], 并从物理模拟和数学模拟对 L-型俯冲的存在进行了验证^[25]。L-型俯冲的涵义是: 龙门山冲断带是由深部物质的调整而带动四川盆地(扬子板块)的岩石圈沿其内部的若干塑性层向龙门山和青藏高原发生多层次(上地幔顶部层、下部地壳层、中部地壳层和上部地壳层)、多阶段(印支末期、燕山期和喜山期)的俯冲所形成。

罗志立、刘树根等^[1]在对中国西部冲断带, 尤其是天山造山带南北冲断带研究基础上, 提出了天山双向俯冲(Tianshan subduction, 简称 T-型俯冲)的概念, 认为塔里木盆地和准噶尔盆地彼此相对向天山造山带俯冲, 才导致造山带浅层构造抬升和背向逆冲推覆构造带。至此, 建立了 C-型俯冲(带)的两种类型: L-型单向俯冲(带)和 T-型双向俯冲(带)。

刘树根、罗志立等^[26]认为盆山系统是中国西部中生代构造的基本格局, 并有单侧盆地型盆山系统和双侧盆地型盆山系统两种基本类型。盆山系统是陆块相互作用、岩石圈相互耦合的复杂

系统, 主要表现为物质的循环系统和能量的交换系统。中国西部盆山系统的盆山间耦合关系在垂向上表现为造山带隆升与沉积盆地沉降呈镜像关系, 在横向上表现为物质流和能量流的循环传递。值得指出的是, 把 C- 型俯冲理解为 Intracontinental subduction (陆内俯冲) 较理解为 Chinese subduction (中国型俯冲) 更恰当。因此, 本文所称的 C- 型俯冲均应为陆内俯冲。

1.2.2 对 C- 型俯冲的评述和应用

20 世纪 80 年代初, C- 俯冲概念提出后, 反对者有之, 赞成者有之, 当时大多数学者持怀疑态度。前者如李杨鉴^[27]认为“软弱的新沉积层向已褶皱的老山系下潜滑俯冲是不可能的”, 并否认准噶尔盆地西北缘克乌冲断带和龙门山冲断带正断层反转为逆断层, 还质疑“盆地一侧或两侧潜滑俯冲, 势必引起盆地中央扩张, 但实际上无此现象”。后者如甘克文认为: “如果严格把 C- 俯冲带仅限于内陆盆地边界的基底冲断带, 罗志立提出的 C- 型俯冲带这一术语是适合的”。国内首先引用 A- 俯冲的著名石油构造学家朱夏先生^[28], 临终前在论述中国大地构造的讲话中, 认为中国发生的俯冲“显然不是 B-subduction, 也不同于 Bally 提出的 A-subduction, 罗志立教授所说的 C-subduction, 是与地壳底下的物质向外流动, 产生的底流(subfluz)有关”。

国内许多地学工作者已提出与我们上述 C- 型俯冲论点相近或类似的观点, 有力地加深了对 C(陆

内)- 型俯冲的认识。刘和甫等^[29]认为龙门山存在“陆内俯冲与造山漂浮”。④邓晋福等^[30]认为在松潘- 甘孜褶皱系内广布的中生代白云母(二云母)花岗岩带, 代表扬子大陆在印支- 燕山期, 曾向松潘- 甘孜褶皱系发生过陆内俯冲作用; 从岩体分布宽度估计, 俯冲距离约 150 km。④马宗晋等^[31]通过对天山造山带的深部结构和地震研究, 建立了天山造山带岩石圈“层间插入消减模型”。许志琴等^[32]在研究青藏高原形成的驱动力时认为: 新生代青藏高原隆升, 是印度板块向北俯冲, 塔里木地块向南俯冲到阿尔金山造山带下, 阿拉善地块向南俯冲到祁连山下, 扬子地块向西俯冲到龙门山下(尚持怀疑态度)形成的青藏高原周缘造山带并使其隆升, 陆内俯冲是驱动青藏高原隆升的动力来源之一。

1.3 C- 型俯冲(带)的基本特征

A- 型、B- 型和 C- 型俯冲在大地构造位置、构造背景、深部结构等方面均存在明显差异(表 1, 图 1)。正是这些差异, 使 C- 型俯冲具有独特的一些特征。

(1) 常发生在隆坳之间, 地貌反差大。C- 型俯冲(带)规模常达数百千米, 可深切至下地壳甚至莫霍面, 如龙门山冲断带和天山北缘冲断带。龙门山冲断带位于青藏高原与川西平原之间, 其地貌反差大于 3 000 m。

(2) 在沉积背景上, 常处于前陆盆地沉积最厚和沉降最深的地方。自晚二叠世中国西部形成许

表 1 B- 型俯冲、A- 型俯冲和 C(陆内)- 型俯冲带特征对比表^[8, 9, 19, 26]

Table 1 Comparison of characteristics of A-subduction, B-subduction and C-subduction zones

特征要素	A- 俯冲	B- 俯冲	C- 俯冲
大地构造位置	位于板缘, 火山弧大陆一侧, 或陆- 陆碰撞造山带一侧	位于板缘, 洋壳向陆壳俯冲的太平洋型边缘	位于板内(陆内), 大陆内褶皱带和前陆盆地结合部位
沉积特征	中、新生代海陆过渡相沉积为主	弧前盆地的陆相到海相沉积	中新生代陆相沉积为主, 厚度巨大
变动时间	中新生代	中新生代	晚中生代和新生代
变动前构造背景	火山弧后盆地	太平洋型大陆边缘	中国大陆拼结之后
中浅部构造形态	倾向大洋的弧后冲断带, 或倾向造山带	倾向大陆的叠瓦状消减带杂岩体	陆内褶皱山系前缘, 俯冲带倾向造山带
深部地壳结构	基底与盖层滑脱形成薄皮构造	洋壳向大陆边缘俯冲	沿地壳或上地幔塑性层发生多层次滑脱、推覆和滑覆
动力学特点	由于 B- 俯冲活动在大陆一侧形成配套的 A- 俯冲	由于洋脊扩张迫使洋壳向陆壳发生俯冲	深部地质作用调整、前陆盆地沉积和构造负荷和邻区板块构造活动触发的复合作用
前陆盆地	形成 Dickinson 的板缘前陆盆地: 弧背前陆盆地和周缘前陆盆地	相当 Bally 的前弧盆地	形成板内(陆内)前陆盆地: 陆内俯冲型(C- 型)前陆盆地

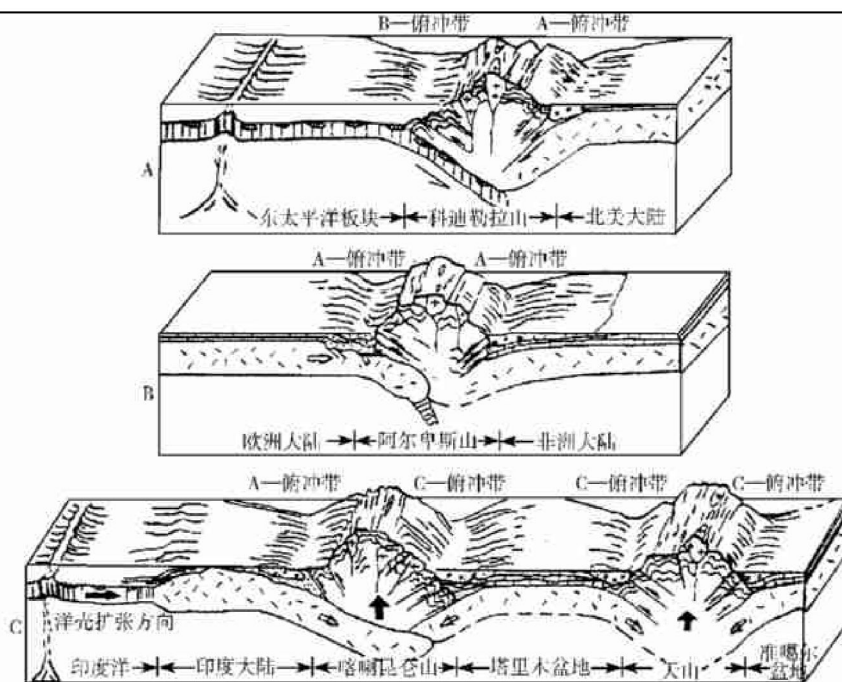


图1 C-型俯冲与B-型及A-型俯冲对比图

Fig.1 Comparison of C- subduction with B- subduction and A- subduction

A—洋-陆俯冲形成的科迪勒拉造山带^[8]; B—陆-陆碰撞形成的巴尔干型造山带^[8];

C—C-型俯冲形成的喀喇昆仑山和天山型造山带

多陆相盆地,在冲断带前缘形成的前陆盆地,陆相岩层厚度达5 000~15 000 m。

(3)在构造演化上,成背驮式向前陆盆地逐步发展,不断加大前陆盆地的构造负荷,迫使地壳下弯,加速前陆盆地沉降。

(4)在深部地壳结构上,相邻造山带或前陆盆地中、下地壳内存在低速层或高导层,莫霍面或软流圈有由前陆盆地向造山带下插之势。

(5)印支期之后,天山、昆仑山、祁连山、秦岭和龙门山区洋盆早已消失,褶皱造山带已经形成,中国大陆已拼结成块。C-型俯冲是发生在大型陆相盆地与造山带之间的冲断带,故称为陆内俯冲。

(6)在动力学上,C-型俯冲是复合作用的结果。发生C-俯冲的内在条件有:地貌反差大、早期大断裂存在、前陆盆地有巨厚的沉积负荷和构造负荷、地壳和上地幔中又存在多个滑脱层等。邻区板块特别是印度板块俯冲或碰撞产生的远端效应是其外因,它会触发前陆盆地重力失稳状态转变成运动状态,导致前陆盆地深层构造向造山带腹部潜滑,从而会强化陆内造山带的隆升和前陆盆地的逆冲和滑覆。

1.4 C-型俯冲的造山造盆作用

(1)C-型俯冲对陆内造山带形成起着杠杆作用。C-型俯冲带多位于中国西部造山带的山根与地块之间,对中、新生代陆内造山带的隆升,起着杠杆抬升作用。天山和龙门山新生代强烈上升与C-型俯冲有关。

(2)C-型俯冲对中国前陆盆地形成起着控制作用。经多年的研究,中国西部大型前陆盆地均与C-型俯冲有关,因而提出C-型俯冲形成“陆内俯冲型前陆盆地”的论点^[26]。

(3)C-型俯冲对油气、金属矿产和灾害地质的形成有重要作用。由于C-型俯冲带多发生在古生代的被动大陆边缘和后期中、新生代变形的陆相盆地边缘,对海、陆相沉积有控制作用,成烃和成藏条件十分有利。中国西部的准噶尔盆地西缘、塔里木盆地北缘和四川盆地西缘等前陆盆地均产油气,中国最大的克拉2气田即位于塔里木盆地北缘的库车前陆盆地。

C-型俯冲产生的热效应,使深部地壳物质活化迁移,在韧性剪切带有金矿的富集,在俯冲带上盘有多金属矿产富集,如陕、甘、川卡林型金矿和

东秦岭崤山的金矿化与此有关^[33], 在龙门山俯冲带丹巴地区形成的伟晶岩型白云母矿床, 与俯冲作用形成的变质核杂岩有关^[34]。

2 前陆盆地的基本特征

我国不少学者对中国西部的前陆盆地做了深入的研究工作, 但对其称谓和基本地质特征的认识仍然分歧较大。目前, 对中国西部前陆盆地已提出的称谓有: 再生前陆盆地 (reactivated foreland basin)^[35, 36]、类前陆盆地 (paraforeland basin)^[37, 38]、陆内前陆盆地 (intracontinental foreland basins)^[39~41]、远前陆盆地 (outer foreland basin)^[42]、前陆类盆地^[43]、中国型前陆盆地^[26] 和陆内俯冲型前陆盆地 (Intracontinental subduction foreland basin)^[44] 等。我们认为, 解决上述分歧的关键之一是详细研究中国西部前陆盆地形成的地质构造背景和动力学机制。

2.1 构造背景和动力学机制

中国西部前陆盆地的形成与中国西部的陆内俯冲 (C- 俯冲) 有关, 又与陆内造山作用相对应, 三者成生关系非常密切。中国大陆拼结后并不稳定, 中国西部地壳不断受挤压缩短, 因陆内俯冲和抬升形成许多正向的雄伟的年青山脉 (即陆内造山), 也因陆内俯冲形成许多负向的深陷的前陆盆地 (俯冲造盆), 故中国西部前陆盆地代表中国西部大陆构造表现的一种特殊构造形式。

2.1.1 微陆块拼接

从地史演化上看, 中国 $960 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的国土面积是以塔里木、中朝和扬子 3 个古板块为核心, 和 38 个微陆块拼合形成。它们均具有前寒武纪基底, 任纪舜^[45] 称之为古中华陆块群。这些陆块规模很小, 即使最大的中朝板块, 其面积只有北美板块的 6%, 中国最大的中朝、扬子和塔里木 3 个古板块面积总合也只是北美板块的 13%。由此可见, 中国古板 (陆) 块规模小, 无法与世界其他大型板块相比拟。因其规模小, 在板块运动过程中, 则稳定性差、活动性大, 在古板块演化格局中发生多次分裂和拼接, 在地史演化中表现为多旋回构造运动。因此, 在中国前陆盆地中, 留下了许多特殊的地质记录。中国大陆是在多陆块、多洋盆和活动性大的拼接过程中形成的。这一特色影响到中国的各种地质作用和地质现象, 如软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用^[46] 等的发生。

2.1.2 陆内 (C- 型) 俯冲

20 世纪 70 年代造山带及其前缘深部发现低速高导层。由于这一地球物理特征地发现, 陆内俯冲作用才成为可能, 盆-山转换机制才能形成。中国大陆的大部分地区都存在壳内和幔内高导层, 局部存在两层壳内高导层^[47~50]。这些壳内高导层是陆内俯冲作用产生的前提条件。此外, 上地壳变质岩和沉积岩盖层中的非能干层 (如千枚岩、页岩、石膏层等), 也是地壳拆离滑脱的构造条件。

由于幔 (壳) 内高导层、上地壳变质岩和沉积岩盖层中的非能干层的存在, 陆内俯冲发生时, 就在盆-山之间发生能量流和物质流的转换和迁移, 前陆盆地得以形成^[26]。能量流 (指温度流、应力场) 分纵横两个传播方向: 一个是从深部软流圈和上地幔传向地壳, 另一个是以壳内高导层为拆离滑脱层, 其下能量从盆地造山带迁移, 而其上是造山带传向盆地。物质流也有纵、横两个方向迁移: 在造山带因拆离、滑脱作用升温形成的岩浆流体, 岩石和矿物质从深部向浅部迁移, 形成岩浆侵入体和矿床, 而在前陆盆地物质则从浅部向深部迁移。在横向上, 前陆盆地中地壳物质因俯冲、潜滑迁移到造山带腹部; 而造山带因推覆、滑覆和蚀顶作用, 物质流向前陆盆地 (图 2, 3)。

2.1.3 特提斯洋关闭和印度板块持续推挤

羌塘-昌都陆块于印支期与欧亚大陆碰撞, 使金沙江洋关闭, 它向北的远端效应可达准噶尔、塔里木和中朝与扬子板块的西部, 形成中国西部许多前陆盆地的雏形, 如准噶尔盆地西缘、鄂尔多斯盆地西缘和四川盆地西缘等。

金沙江洋关闭后, 拉萨地块从冈瓦纳大陆分

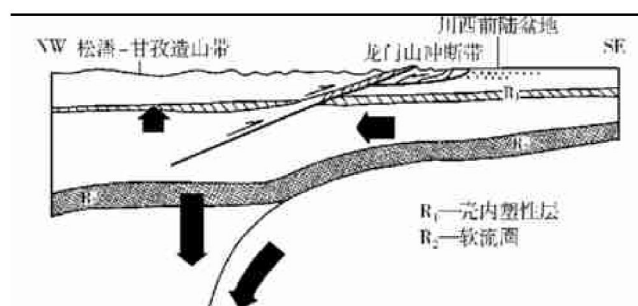


图2 龙门山造山带-川西前陆盆地系统形成的物质循环和能量循环示意图 (L-型俯冲)

Fig. 2 Sketch map showing mass and energy circulations in Longmenshan orogenic belt-Chuanxi foreland basin system (L-subduction)

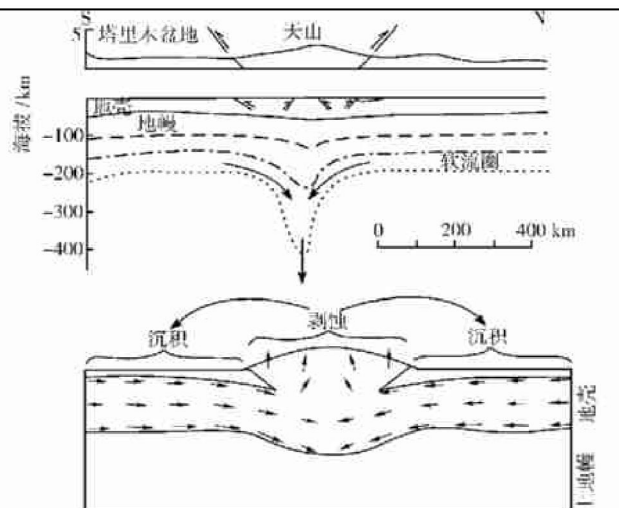


图3 塔里木盆地-天山造山带-准噶尔盆地系统形成的物质循环和能量循环示意图(T-型俯冲)

Fig. 3 Sketch map showing mass and energy circulations in Tarim basin-Tianshan orogenic belt-Junggar basin system (T-subduction)

裂出来,并继续北上,在其间形成班公-怒江-澜沧江东特提斯洋,发展到晚三叠世一早、中侏罗世开始萎缩、消亡,于早白垩世完全关闭,代表全球板块运动一次大的构造事件,结束中国西北地区许多早、中侏罗世的断陷湖盆群,并诱使准噶尔盆地西缘的阿尔泰山、南缘的天山、塔里木盆地西缘的西昆仑山和东缘的阿尔金山,以及祁连山、秦岭和龙门山等山脉再次上升,使其前缘的前陆盆地继续发育。

印度板块于中白垩世(100 Ma)脱离冈瓦纳大陆向北漂移,于始新世(52 Ma)与欧亚大陆碰撞,52 Ma碰撞以来缩短距离500~1 000 km,产生的南北向挤压、缩短作用,除使青藏高原隆升和地壳加厚外,所产生的强大远程效应,使高原周边断裂俯冲、走滑、抬升;同时触发陆内俯冲,使西昆仑山、天山、阿尔金山、祁连山、龙门山于新近纪不断抬升,分布其前缘的前陆盆地剧烈沉降,发育完成。

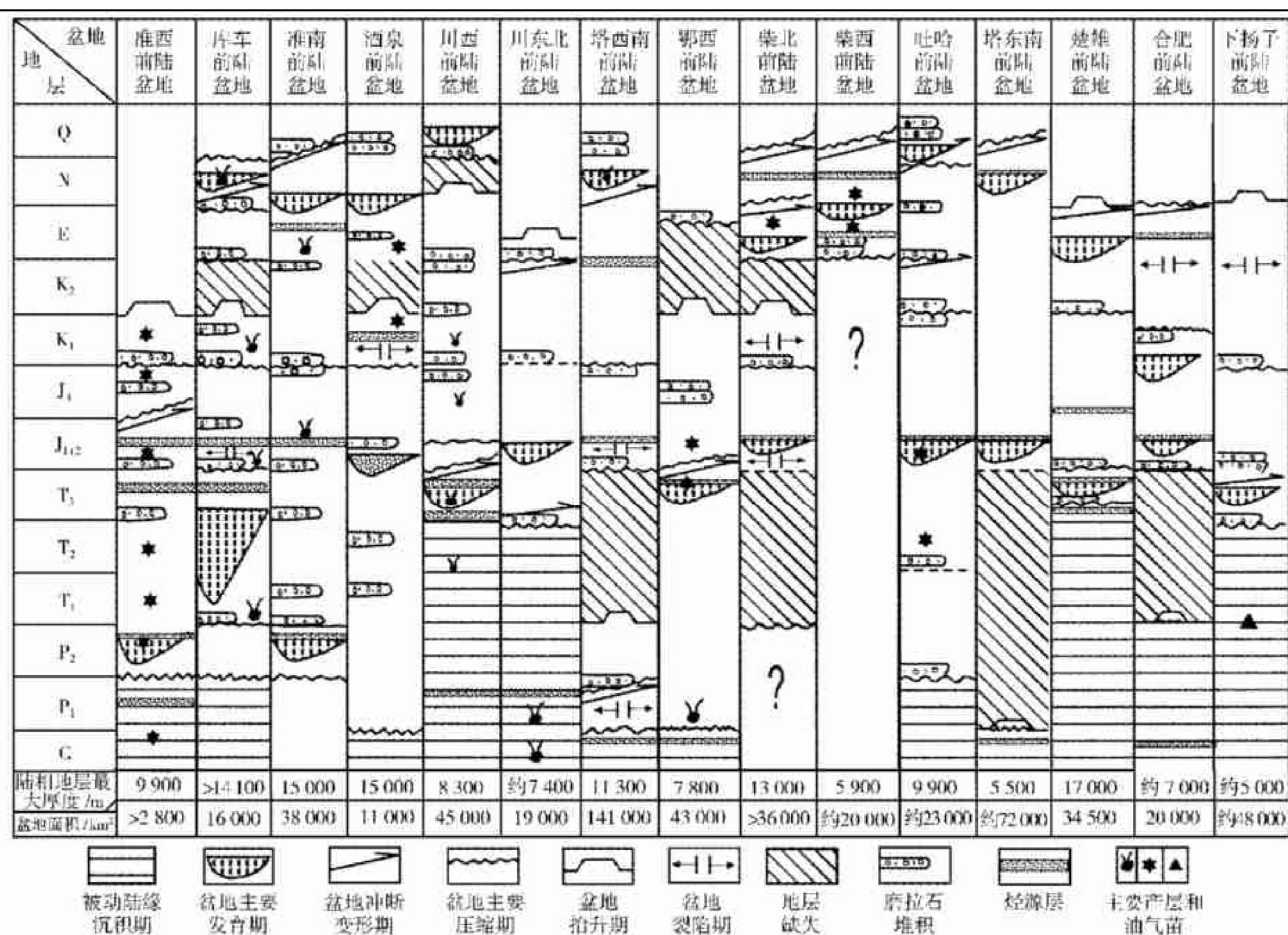


图4 中国前陆盆地构造演化及油气显示

Fig. 4 Tectonic evolution of foreland basins and oil/gas shows in China

2.2 与经典前陆盆地的异同

国外以 Dickinson^[51] 及 Bally 和 Snelson^[9] 确定的典型前陆盆地标志, 国内以图4中所列的中国西部前陆盆地特征为准进行比较, 发现二者有共性之

处, 更多的是个性不同之点(表 2)。

2.3 基本地质特征

众多学者对我国西部前陆盆地的地质特征曾作过深入的讨论^[52~ 57]。在此, 仅从陆内俯冲和陆

表 2 陆内俯冲型前陆盆地与国外经典前陆盆地的异同
Table 2 Comparison of intracontinental subduction type foreland basins with those typical foreland basins abroad

特 征	周缘前陆盆地	弧后前陆盆地	陆内俯冲型前陆盆地
命名者	Dickinson, Bally	罗志立、刘树根	
区域构造位置	板缘: 巨型造山缝合带与大型克拉通之间	板(陆)内: 陆内造山带与微陆块之间	
盆地规模	规模大, $14 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4 \text{ km}^2$	规模小, 数千至数万 km^2	
盆地的基本结构	均有前陆冲断带、前渊、前隆和在前渊中堆集磨拉石(处于压性环境中), 但中国的前陆盆地基本结构规模小, 前隆不明显, 缺少岩浆弧		
动力学背景	与全球性的洋、陆俯冲或 陆-陆碰撞形成的 A-俯冲有关	与局部性的 C-俯冲(或陆内俯冲)有关	
沉积体系配置	以中、新生代海相地层为主, 陆相磨拉石发育	以中、新生代巨厚的陆相和磨拉石沉积为主	
前陆冲断带发育程度	冲断带宽度 100~ 200 km, 甚至大于 200 km	冲断带宽度仅 20~ 60 km	
前陆盆地发育程度	较发育, 在造山带前缘成群、成带分布	不发育, 在造山带前一般仅一个前陆盆地	
盆地沉降动力学机制	构造负载为主, 次为沉积负载	沉积负载为主, 次为构造负载, C-型俯冲有重要作用	
烃源层和油气显示	以前海相烃源岩为主, 以产石油为主	以陆相烃源岩为主, 以产天然气为主	
板块发育阶段	消减(subduction)和碰撞(collision)阶段	陆内压榨(squeeze)阶段	

内俯冲型前陆盆地角度, 对其基本地质特征作一探讨。

(1) 盆地开始发育的时间。前陆盆地开始发育的时间是以塔里木、华北、扬子 3 个古板块和准噶尔及柴达木两个块体由海相沉积转为陆相沉积的时间。除四川和柴达木盆地外, 其他均在晚古生代形成。然而, 前陆盆地最主要的活动期是古近纪至第四纪, 也就是在喜山运动表现最为强烈。最典型是库车前陆盆地和淮南前陆盆地。

(2) 前陆盆地规模。中国大陆拼结后, 由陆内俯冲(C-俯冲)形成的前陆盆地规模比较小, 由几千平方公里到几万平方公里, 较大的川西前陆盆地也不过 67 000 km^2 。

(3) 大地构造位置。国外前陆盆地多发生在板块俯冲或碰撞的大陆边缘, C-型前陆盆地发生在大陆拼结后的大陆内部(或板内)。

(4) 无岩浆弧和蛇绿岩套。除在中天山南缘有火山弧型的花岗岩(泥盆系—石炭统)和碰撞后的碱性花岗岩带(二叠系—三叠系)^[58]外, 一般在C-型前陆盆地相邻的造山带中, 于中、新生代均未见同造山期的岩浆弧。

(5) 前陆冲断带样式。多为前展式, 冲断序列一般从造山带向前渊方向, 从晚古生代断裂向中、

新生代断裂发育。主要形成时间, 多在新生代, 如天山南缘、天山北缘、祁连山北缘、祁连山南缘、西昆仑山北缘等冲断带; 西准噶尔、鄂尔多斯和川西龙门山冲断带则形成于晚三叠世—侏罗纪。

(6) 前渊和前陆斜坡。前者是前陆盆地的主体部分, 常成不对称的拗陷, 靠近前陆冲断带的陡翼, 充填巨厚的中、新生代地层, 厚 5 600~ 15 000 m, 靠近前陆斜坡厚度减薄, 有的层位甚至尖灭, 如川西前陆盆地中的上三叠统须家河组一至三段, 向川中尖灭。沉积体系配置, 除在塔西南、川西和楚雄等前陆盆地分布少量的海相地层外, 一般均为陆相地层, 由冲积扇砾岩—河流相砂泥岩—湖泊相沉积体系组成, 在纵向上频繁交替具旋回性, 显示磨拉石堆积特征。如川西前陆盆地, 从上三叠统须家河组四段至第四系, 可见巨厚砾岩 14 层。在库车前陆盆地上第三系有厚度大于 7 000 m 的砂砾岩层。

(7) 前缘隆起(前隆)。在C-型前陆盆地中, 表现不明显, 因而认识存在分歧。如有的把库车前陆盆地的前隆一直推到塔里木盆地中心; 有的把盆地内不同时代的古隆起作为前陆盆地的前隆, 如把塔北古隆起(古生代), 作为中新世库车前陆盆地的前隆^[59]; 或把泸州—开江古隆起(中三

叠世形成)作为晚三叠世川西前陆盆地的前隆^[60]。有的甚至把整个四川盆地都叫前陆盆地,而无前隆^[61]。C-型前陆盆地无明显的前隆,是与中国克拉通块体小和前陆盆地不典型有关。

2.4 油气成藏特点

2.4.1 烃源岩以陆相有机质为主

国外前陆盆地的沉积相类型在前陆盆地形成前,多为被动陆缘环境下形成的海相页岩和碳酸盐岩,其中所夹的烃源岩厚度大、层系多。洋壳向大陆俯冲和大陆-大陆碰撞形成的弧后前陆盆地和周缘前陆盆地,虽有陆相地层形成,但浅海相页岩、碳酸盐岩和蒸发岩仍占较大的比重。其烃源岩多为③型海相有机质,总有机碳含量可达3%~30%。世界产油最多的扎格罗斯前陆盆地从寒武系到始新统均有海相烃源层分布,烃源层系最多可达12层。

中国西部C-型前陆盆地形成于大陆拼结之后,拼接前的稳定大陆边缘海相沉积,如天山、祁连山、西昆仑山和龙门山等小洋盆在古生代也有海相烃源岩,但因多旋回的造山运动和后期洋盆关闭的变质等作用,海相烃源岩多受破坏,难能成为前陆盆地主要的烃源层。C-型前陆盆地多为河、湖、沼泽相沉积,受陆内俯冲和造山带脉动的影响,活动性大,岩相变动频繁,只有较稳定期形成的湖相和沼泽含煤相,为较好的烃源岩,以④型陆相有机质为主。加之深埋藏,有机质演化程度高,因而近10年来勘探的C-型前陆盆地多以产气为主,如川西前陆盆地、库车前陆盆地等。

2.4.2 储层以低孔渗砂岩为主

C-型前陆盆地中新世地层沉积相带变化非常迅速,以砂岩储层为主,物性变化大。储层物性不但受沉积相带控制,而且还受成岩作用的影响。中新世中国西部盆山对立,C-型前陆盆地均处于挤压环境和被动沉降状态,储层普遍具低孔、低渗和异常压力特征。储层分布规律复杂,发育多套生储盖组合,浅层至深层多层系含油气,如川西前陆盆地致密碎屑岩在下白垩统(K₁)、侏罗系蓬莱镇组(J_{3p})、遂宁组(J_{3s})、沙溪庙组(J_{2s})、千佛崖组(J_{2q})、白田坝组(J_{1b})、三叠系须家河组五段(T_{3x}⁵)、二段(T_{3x}²)等8个层位近50余套砂体都有天然气分布,其所在深度从200 m至4 800 m,跨度达4 600 m。

2.4.3 油气圈闭多样

中国西部C-型前陆盆地,虽在全球构造背景、盆地规模和前隆特征以及成因机制等方面,与国外前陆盆地不同,但前陆盆地基本结构是相似的,有冲断带、前渊、前陆斜坡、前陆隆起等4个构造单元。由于这些构造单元受力强度不同,与所在烃源岩聚集中心位置不同,因而其油气的分布特征也不相同^[62]。

(1) 前陆冲断带形成的背斜油气藏。中国许多大、中型油气田均位于冲断带形成的背斜或断背斜圈闭中,如独山子、克拉玛依、老君庙、冷湖、依奇克里克、克拉2号、马家滩、中坝、平落坝等油气田,具有海陆两套多层烃源岩供给油气,油气资源丰富,形成多套砂、泥岩或碳酸盐岩成藏组合,储集层多;多期次构造活动形成较大的背斜圈闭;多套断裂系统发育,油气排运充分,充注效率高;盆地发育后期往往出现蒸发岩类作为很好的盖层,如库车、塔西南、祁连山北缘等前陆盆地,这是形成大油气田必不可少的条件。川西前陆盆地冲断带上的海棠铺构造,成油气条件虽好,但缺乏良好的盖层,油气苗遍地,油气藏受到破坏。

值得指出的是,前陆冲断带浅部构造和深部构造常不协调,深部构造由于圈闭保存条件好,孔渗性能得到改善,油气易于成藏。国外扎格罗斯山前和落基山前陆盆地,国内勘探成功的库车、淮南、窟窿山以及川西地区都表明了这一油气成藏特点。

(2) 前渊带形成的断背斜和岩性油气藏。中国西部C-型前陆盆地前渊带较窄,规模小。前渊带位于前陆盆地生油气中心,油气田主要为地层圈闭和构造-岩性圈闭油气藏,在超高压条件下在浅层还会形成次生气藏,如川西前陆盆地中的老关庙气田、文兴场气田、孝泉气田,以及库车前陆盆地拜城凹陷-秋立塔克背斜带的气田。

(3) 前缘斜坡。为前陆盆地沉积向前隆超覆、尖灭带,如川西前陆盆地的梓潼拗陷-名山拗陷向川中的过渡带,常形成岩性油气藏,如梓潼场气田、文兴场气田、苏码头含气构造等。在塔西南前陆盆地有麦盖堤斜坡带也有类似的油气田。

(4) 前缘隆起。中国西部C-型前陆盆地的前缘隆起不典型,有的发育在古隆起之上,如库车前陆盆地南缘隆起带,常见中、新生代地层不整合在老地层上,浅部发育正断层,深部为复杂的断裂体系,故发育断块和断背斜等油气田,如羊塔克、牙

哈、英罗7(英买7)等凝析气田。有的发育在基底断裂活动基础上,如川西前陆盆地的三台-龙泉山基底断裂上发育的褶皱-背斜带,发育有八角场气田和龙泉山含气背斜带。

2.4.4 以喜山期为主的多期成藏

中国西部自三叠纪以来存在多次构造运动,如印支晚期(T_3 末)、燕山中期(J_2 末、 J_3 末)、燕山晚期和末期(K_1 末和 K_2 末)和喜山期(N_1 末和 N_2 末),并形成许多重要的区域性不整合面。同时,构造运动的性质、强弱程度及特征,不仅随时而异,而且在地域上也有差异。它们对前陆盆地形成、改造、构造圈闭及油气藏的保存均有重要作用。

(1) 印支晚期运动。主要是羌塘地块向北俯冲、碰撞,产生的远程效应。它使楚雄、川西和鄂尔多斯盆地西缘等前陆盆地形成并发生第一次冲断推覆作用,形成侏罗系与三叠系的不整合,并从冲断带的不整合向盆地内演变为假整合到整合,可称为“递变型不整合”,这在川西前陆盆地的北段特别清楚。主要油、气生产层位为晚三叠世的河、沼相沉积层。

(2) 燕山中期运动第1幕(J_2 末)。中侏罗世末东特提斯和拉萨地块北上,与羌塘地块对接,使班公-怒江洋关闭,代表冈瓦纳大陆与欧亚大陆碰撞,是全球板块运动中一次大的地质事件。其远程效应,在准噶尔盆地西缘、准噶尔盆地南缘、库车、塔西南、吐哈盆地北缘以及鄂尔多斯盆地西缘等前陆盆地形成和冲断推覆,可见上侏罗统与中侏罗统之间的不整合,或可见下白垩统与中、下侏罗统之间呈平行不整合。但在川西前陆盆地北段,可见中侏罗统与下侏罗统及其以下地层不整合、上侏罗统厚层块状莲花口砾岩与中侏罗统遂宁组呈假整合。这期运动对中国西部前陆盆地油气田的形成具有重要作用,准噶尔盆地西缘前陆盆地的克拉玛依特大型油田(T)及百口泉、乌尔禾等油田(C- J_2)的主要产层,均发生在燕山中期运动。准噶尔盆地南缘、吐哈盆地北缘、柴达木盆地北缘、鄂尔多斯盆地西缘前陆盆地,中、下侏罗统均为主要产层。

(3) 燕山中期运动第2幕(J_3 末)。在酒泉前陆盆地可见下白垩统与中下侏罗统角度不整合,在淮南、吐哈、库车和鄂尔多斯西缘等前陆盆地,可见递变型超覆不整合。上侏罗统因气候变化以红色碎屑岩为主,仅准西前陆盆地的克拉玛依油田

和淮南前陆盆地三台油田产层为上侏罗统。

(4) 喜山运动(N_2/N_1 和 Q/N_2)。因印度板块和欧亚板块强烈碰撞和持续向北的推挤作用,由于陆内俯冲作用,使东-西昆仑山、南-北天山、博格达山、南-北祁连山、龙首山等再度活动,不断上升,前陆盆地不断沉降,新生代的沉积速率显著增大,特别是上新世—第四纪的沉积速率比中新世增加数十倍^[63]。与上新世—第四纪同时发生的喜山期冲断和背斜褶皱,在白垩系—新近系中形成次生大气田和油田,如库车前陆盆地中的克拉2号气田和前隆中的牙哈等油田,其他如柴北冷湖油田(E-N)和吐哈台北油田(K-E);以及川西前陆盆地侏罗系—白垩系红层中的次生气田,也形成于喜山期^[64]。

喜山运动对中国西部C-型前陆盆地急剧沉降、圈闭形成和油气运聚起了重大作用。中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动^[65]。C-型前陆盆地油气成藏以喜山期为主,这是因为:(1)虽然不同盆地烃源岩的热演化历史存在一定的差异,但进入生烃门限和大量排烃的时期较晚(以喜山期为主)是其共有的特征^[57];(2)多数圈闭形成于喜山期,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^[66];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^[67],决定了类似于克拉2、依南2等油气田形成的时间为中新世或其以后^[57];(3)喜山运动导致先期油气藏的破坏和调整,形成次生油气藏,如川西前陆盆地侏罗系—白垩系次生气藏的形成^[68]。

3 结语

从建国前的独山子油田和老君庙油田的诞生,到建国初期克拉玛依、冷湖、鸭儿峡、依奇克里克等油田的发现,到20世纪70年代柯克亚与中坝等油气田的出世,再到20世纪80~90年代鄯善、丘陵、三台、北三台、平落坝、呼图壁、南八仙、新场、克拉2等一大批油气田的涌现^[69],我国西部前陆盆地及其相邻的冲断带勘探一直是中国石油工业的重要勘探基地之一。我国西部前陆盆地及其相邻冲断带,油气有利勘探面积达 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$,石油总资源量约 $115 \times 10^8 \text{ t}$ 和天然气资源量 $10.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上,分别占西部油、气总资源

量的42%和40%以上^[54,55]。虽已经过几十年的勘探,中国西部前陆盆地及相邻冲断带的油气勘探程度仍较低,分别为17%和6.7%,显然勘探潜力巨大。因此,中国西部前陆盆地及相邻冲断带仍是我国今后较长时期油气勘探的重点和难点之一。

对今后我国西部前陆盆地的研究,有以下两点值得重视:(1)紧紧抓住中国西部地质的独特性:青藏高原的隆升和盆山系统的形成为前陆冲断带和前陆盆地的耦合关系;小陆块拼合、多旋回运动和强烈的陆内构造活动是我国西部盆山系统形成的地质背景^[26]。只有从中国西部地质的独特性着手,才能深刻地揭示我国西部前陆盆地的基本特征。(2)加强我国西部成山(造山带)成盆(沉积盆地)成藏(油气藏、金属矿藏)动力学的综合研究^[70],尤其应加强新近纪以来我国大陆构造演化对油气藏形成和分布的重要控制作用^[71-72]。

总之,本文试图从陆内俯冲(C-型俯冲)角度,揭示我国西部前陆盆地在成因机制、盆地类型、地质特征、油气成藏等的特殊性。据现有研究程度,目前还不能认为我国西部前陆冲断带均存在C-型俯冲,显然也不能得出西部前陆盆地均是陆内俯冲型前陆盆地的结论。然而,通过以上的论述可以有依据地认为:发育在大陆内部(板内)的我国西部前陆盆地与发育在板缘的典型前陆盆地(周缘前陆盆地和弧后前陆盆地)有着本质的区别;陆内俯冲型(C-型)前陆盆地是我国陆内前陆盆地(Intracontinental foreland basin)的重要类型。

参 考 文 献

- 罗志立,刘树根,赵锡奎,等.试论C-型俯冲带及对中国中西部造山带形成作用[A].见:罗志立.龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[C].成都:成都科技大学出版社,1994.288~316
- 翟光明,宋建国,靳久强,等.板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M].北京:石油工业出版社,2002.433~434
- 闫吉柱,俞凯,赵曙白,等.下扬子区中生代前陆盆地[J].石油实验地质,1999,21(2):95~99
Yan Jizhu, Yu Kai, Zhao Shubai, et al. The Mesozoic foreland basins in the lower Yangtze area [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1999, 21(2): 95~99
- 周进高,赵宗举,邓红婴,等.合肥盆地构造演化及含油气性分析[J].地质学报,1999,73(1):15~24
Zhou Jinggao, Zhao Zongju, Deng Hongying, et al. Tectonic evolution of the Hefei basin and analysis of its petroleum potential[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(1): 15~24
- 周庆凡,曹守连.前陆盆地的石油地质特征及油气前景[J].国外油气勘探,1996,8(5):523~528
Zhou Qingfan, Cao Shoulian. Petroleum Geologic Characterization of the foreland Basin and its Hydrocarbon Potential[J]. Oil & Prospecting Abroad, 1996, 8(5): 523~529
- Jackson J A. Glossary of geology (fourth edition) [C]. American Geological Institute, 1997. 634
- Allaby A, Allaby M. Oxford dictionary of earth sciences (second edition) [M]. Oxford: Oxford University Press, 2003. 40
- Bally A W. Dynamics geology of oil and gas, global tectonics and petroleum exploration[M]. Beijing: Oil and Chemical Industry Press, 1975. 51~72
- Bally A W, Snelson S. Realm of subsidence[A]. In: Miall A D, Facts and principles of world petroleum occurrence[C]. Men Can Soc Petro Geol, 1980. 9~75
- Miall A D. Collision-related foreland basins[A]. In: Cathy J B, Raymond V I. Tectonics of sedimentary basins[C]. London: Blackwell Science, 1995. 393~424
- Bally A W. 地震褶皱带及有关盆地[M].漆家福,陆克政,陈书平,等译.北京:石油工业出版社,1994.14~29
- 朱夏.朱夏论中国含油气盆地[M].北京:石油工业出版社,1981.71~79
- 孙国凡,刘景平.贺兰山坳拉槽与前缘盆地及演化[J].石油与天然气地质,1983,4(3):236~245
Sun Guofan, Liu Jingping. Helan aulacogen and front basin and their evolution[J]. Oil & Gas Geology, 1983, 4(3): 236~245
- 陈焕疆.论板块构造与油气盆地分析[M].上海:同济大学出版社,1990
- 吴世敏,马瑞士,卢华复,等.西昆仑地震展布与塔西南“A”型俯冲[J].石油实验地质,1997,19(1):1~4
Wu Shimin, Ma Ruishi, Lu Huafu, et al. Seismic spread in west Kunlun and A-Type subduction in southwest Tarim [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1997, 19(1): 1~4
- 罗志立.试评A-俯冲带术语在中国大地构造学的应用[J].石油实验地质,1994,16(4):317~324
Luo Zhi-li. A review on the terminology of A-subduction in the geotectonics of China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1994, 16(4): 317~324
- 罗志立.扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响[J].地质科学,1979,(2):127~138
Luo Zhili. On the Occurrence of Yangtze Old Plate and its influence on the evolution of lithosphere in the Southern China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1979, (2): 127~138
- 罗志立.试论中国含油气盆的形成和分类[A].见:朱夏.中国中生代含油气盆地形成和演化[C].北京:科学出版社,1983.20~28
- 罗志立.试论中国型(C-型)冲断带及其油气勘探问题[J].石油与天然气地质,1984,5(4):315~324
Luo Zhili. A preliminary approach on C-subduction and its hydrocarbon prospecting[J]. Oil & Gas Geology, 1984, 5(4): 315~324

- 20 刘树根, 罗志立. 四川龙门山地区的峨眉地裂运动[J]. 四川地质学报, 1991, 11(3): 174~180
Liu Shugen, Luo Zhili. the Emei Taphrogenesis in Longmenshan area, Sichuan, China[J]. Acta Geologica Sichuan, 1991, 11(3): 174~180
- 21 刘树根, 罗志立, 庞家黎, 等. 四川盆地西部的峨眉地裂运动及找气新领域[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 83~90
Liu Shugen, Luo Zhili, Pang Jiali, et al. The Emei taphrogenesis and the new regions for searching gas in the western part of Sichuan basin [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(1): 83~90
- 22 刘树根, 罗志立, 曹树恒. 四川龙门山冲断带中北段岩石圈的层圈性和多级滑脱推覆[J]. 四川地质学报, 1990, 10(3): 145~150
Liu Shugen, Luo Zhili, Cao Shuheng. Layering of lithosphere and multi-level detachment and overthrusting in longmenshan thrust belt [J]. Acta Geologica Sichuan, 10(3): 145~150
- 23 刘树根, 罗志立, 曹树恒. 四川龙门山冲断带中北段岩石圈结构研究[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 86~95
Liu Shugen, Luo Zhili, Cao Shuheng. Study on lithosphere texture of Longmen Mountains thrust belt (central-north section) in Sichuan province [J]. Oil & Gas Geology, 1990, 11(1): 86~95
- 24 刘树根, 罗志立, 曹树恒. 一种新的陆内俯冲类型——龙门山型俯冲成因机制研究[J]. 石油实验地质, 1991, 13(4): 314~324
Liu Shugen, Luo Zhili, Cao Shuheng. On the mechanism of a new type of intracontinental subduction—the Longmenshan subduction [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1991, 13(4): 314~324
- 25 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 龙门山造山带-川西前陆盆地系统形成的动力学模式及模拟研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(5): 432~438
Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. Study on the dynamic mode and its simulation in the formation of Longmen Mountain West Sichuan foreland basin system, China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5): 432~438
- 26 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆地系统的耦合关系及其动力学模式[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 177~186
Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. Coupling relationships of sedimentary basin orogenic belt systems and their dynamic models in west China [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 177~186
- 27 李扬鉴. 中国挤压型盆地边缘的逆冲断层是潜滑俯冲作用形成的吗[J]. 石油与天然气地质, 1986, 7(2): 125~148
Li Yangjian. Have Overthrust along the margins of compressive basins in China been formed by buried subduction[J]. Oil & Gas Geology, 1986, 7(2): 125~134
- 28 朱夏. 活动论构造历史观[J]. 石油实验地质, 1991, 13(3): 201~209
Zhu Xia. On the historical thought of mobilism and tectonics [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1991, 13(3): 201~209
- 29 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化[J]. 地质学报, 1994, 68(2): 101~118
Liu Hefu, Liang Huishe, Cai Ligu, et al. Structural styles of the Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan Province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(2): 101~118
- 30 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 扬子大陆的陆内俯冲与大陆的缩小——由白云母(二云母)花岗岩推导[J]. 高校地质学报, 1995, 1(1): 50~57
Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Intracontinental subduction of the Yangtze continent and continent reducing-inferred from muscovite (two mica) granites [J]. Geological Journal of Universities, 1995, 1(1): 50~57
- 31 马宗晋, 赵俊猛. 天山与阴山-燕山造山带的深部结构和地震[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 95~102
Ma Zongjin, Zhao Junmeng. Contrast research on Tianshan orogenic belt and Yinshan-Yanshan orogenic belt [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 95~102
- 32 许志琴, 杨经绥, 姜枚, 等. 大陆俯冲作用及青藏高原造山带的崛起[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 139~152
Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei, et al. Continental subduction and uplifting of the orogenic belts at the margin of the Qinghai-Tibet plateau [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 139~152
- 33 陈衍景. 影响碰撞造山成岩成矿模式的因素及其机制[J]. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 109~118
Chen Yanjing. Constraints and their mechanism on the petrogenic and metallogenic model for collision orogenesis [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(sup): 109~118
- 34 骆耀南, 俞如龙, 侯立伟, 等. 龙门山-锦屏山陆内造山带[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998. 5~88
- 35 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J]. 地学前缘, 1995, 2(3~4): 59~68
Liu Hefu. Classification of foreland basins and fold thrust style [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3~4): 59~68
- 36 伍杨洋, 冯军. 前陆盆地研究进展[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 87~91
Wu Yangyang, Feng Jun. Advances in research on foreland basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003, 24(1): 87~91
- 37 陈发景, 冉隆辉. 中国中、新生代前陆盆地的构造特征和地球动力学[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(4): 366~372
Chen Fajing, Ran Longhui. Tectonic features and geodynamics of Mesozoic and Cenozoic foreland basins in China [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(4): 366~372
- 38 杨明慧, 刘池洋. 中国中西部类前陆盆地特征及含油气性[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 46~49
Yang Minghui, Liu Chiyang. Characters of quasi-foreland and basins in west-central China and their oil and gas potential [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 46~49
- 39 田在艺, 张庆春. 中国含油气沉积盆地论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 40 高长林, 叶德嫖, 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
Gao Changlin, Ye Deliao, Qian Yixiong. Classification of foreland basins and aspects of hydrocarbon resources [J]. Petroleum Geology &

- Experiment, 2000, 22(2): 99–104
- 41 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
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xingke, et al. Foreland and basin and its definition and research [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 307–313
 - 42 李曰俊, 陈从喜, 买光荣, 等. 陆-陆碰撞造山带双前陆盆地模式——来自大别山、喜马拉雅和乌拉尔造山带的证据[J]. 地球学报, 2000, 21(1): 7–16
Li Yuejun, Chen Congxi, Mai Guangrong, et al. Dual foreland basin model of continent-continent collision orogenic belt: evidence from Dabieshan, Himalayan and Uralian orogenic belts [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(1): 7–16
 - 43 孙肇才. 中国中西部中-新生代前陆类盆地及其含油气性[A]. 见: 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) [C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 73–95
 - 44 罗志立, 刘树根. 评述“前陆盆地”名词在中国中西部含油气盆地中的引用——反思中国石油构造学的发展[J]. 地质论评, 2002, 48(4): 398–407
Luo Zhili, Liu Shugen. Comments on the citation of the term “foreland basin” in the petroliferous basins of central and western China: a review on the development of Chinese petroleum tectonics [J]. Geological Review, 2002, 48(4): 398–407
 - 45 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1999
 - 46 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 85–93
Ren Jishun, Niu Baogui, Liu Zhigang. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 85–93
 - 47 李立. 中国大陆地壳上地幔电性特征[J]. 地球物理学报, 1996, 39(S1): 130–140
Li Li. the Geoelectrical Characteristic of crust and upper mantle in the continental region of China [J]. Acta Geophysica Sinica, 1996, 39(S1): 130–140
 - 48 徐常芳. 中国大陆地壳上地幔电性结构及地震分布规律(一)[J]. 地震学报, 1996, 18(2): 254–261
Xu Changfang. The earthquake distribution and the resistivity structure in the Chinese mainland (iv) [J]. Acta Seismologica Sinica, 1996, 18(2): 254–261
 - 49 徐常芳. 中国大陆壳内与上地幔高导层成因及唐山地震机理研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(S1): 101–111
Xu Chang-fang. The cause of formation of the upper mantle and crust high conductive layers in Chinese mainland and the study of Tangshan earthquake [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S1): 101–111
 - 50 赵俊猛, 张先康, 赵国泽, 等. 不同构造环境下的壳幔过渡带结构[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 165–172
Zhao Junmeng, Zhang Xiankang, Zhao Guoze, et al. Structure of crust-mantle transitional zone in different tectonic environments [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 165–172
 - 51 Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation[A]. In: Dickinson W R. Tectonics and sedimentation [C]. Tulsa: Spec Publ Soc Econ Plaeont Miner, 1974, 22: 1–27
 - 52 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
Lei Zhenyu, He Dengfa, Zhang Chaojun. Oil and gas exploration prospects of the analogous foreland basins in central and west China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(2): 169–174
 - 53 贾承造. 中国中西部前陆盆地冲断带油气资源潜力及勘探对策[A]. 见: 中国石油勘探与生产分公司. 中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 3–8
 - 54 翟光明, 何文渊. 中国前陆盆地特点及未来油气勘探策略[A]. 见: 中国石油勘探与生产分公司. 中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 15–22
 - 55 赵文智, 靳久强, 张光亚. 中国中西部前陆盆地石油地质特征与勘探有利区带评价[A]. 见: 中国石油勘探与生产分公司. 中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 23–34
 - 56 金之钧, 汤良杰, 杨明慧, 等. 中国中西部地区中新世陆内前陆盆地的主要特征[A]. 见: 中国石油勘探与生产分公司. 中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 47–56
 - 57 郑和荣, 李铁军, 蔡立国, 等. 中国中西部前陆冲断带油气地质条件及勘探建议[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 156–161
Zheng Herong, Li Tiejun, Cai Liguang, et al. Petroleum geologic conditions in foreland thrust-fold belt in west-central China and proposals for exploration [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 156–161
 - 58 程裕淇. 中国大百科全书(地质学) [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1993. 256, 440–441
 - 59 曹守连, 陈发景. 塔里木板块北缘前陆盆地构造演化及其与油气的关系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(4): 482–492
Cao Shoulian, Chen Fajing. Tectonic evolution of foreland basin and its relationship with oil and gas in northern Tarim [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(4): 482–492
 - 60 曾允孚, 李勇. 龙门山前陆盆地形成与演化[J]. 矿物岩石, 1995, 15(1): 40–49
Zeng Yunfu, Li Yong. The formation and evolution of Longmen Mountains foreland basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1995, 15(1): 40–49
 - 61 马力, 钱奕中. 中国南方海相油气勘探新进展[J]. 海相油气地质, 1997, 2(2): 2–15
Ma Li, Qian Yizhong. New advances on marine sequence oil-gas exploration research in south China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1997, 2(2): 1–15
 - 62 曾宪斌, 张静华, 金惠, 等. 我国中西部前陆盆地天然气分布规律与有利勘探区带优选[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 12–14

参 考 文 献

- 1 钱基, 金之钧, 张金川, 等. 苏北盆地盐城凹陷深盆气藏[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 26~ 29
Qian Ji, Jin Zhijun, Zhang Jinchuan, et al. Gas pools of deep basin in yan cheng sag, Subei basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 26~ 29
 - 2 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(2): 196~ 202
Dai Shaowu, He Ziai, Wang Jinyi. Thinking of Mesozoic paleozoic hydrocarbon exploration in South China[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(2): 196~ 202
 - 3 余晓宇, 徐宏节, 何治亮. 江苏下扬子区中- 古生界构造特征及其演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 227~ 230
She Xiaoyu, Xu Hongjie, He Zhiliang. Tectonic characteristics and evolution of Mesozoic and Paleozoic in lower Yangtze region, Jiangsu[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 227~ 230
 - 4 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚. 从全球看中国大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 7~ 9
 - 5 张水昌, 梁狄刚, 张大江, 等. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 8~ 12
Zhang Shuichang, Liang Digang, Zhang Dajiang, et al. Evaluation criteria for Paleozoic effective hydrocarbon source rock[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 8~ 12
 - 6 高瑞琪, 赵政璋. 中国油气新区勘探(第五卷), 中国南方海相油气地质及勘探前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 94~ 95
 - 7 傅宁, 刘英丽, 熊斌辉. CZ35- 2- 1 井古生界烃源岩地球化学参数异常分析[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(2): 93~ 98
Fu Ning, Liu Yingli, Xiong Binhui. An analysis of abnormal geochemical parameters of Paleozoic source rocks in CZ 35- 2- 1 well, the southern Yellow Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(geology), 2003, 17(2): 93~ 98
 - 8 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 225~ 231
Dai Chunshan, Li Gang, Cai Feng. The Pretertiary and its hydrocarbon exploration targets in Yellow Sea[J]. China Offshore Oil and Gas (geology), 2003, 17(4): 225~ 231
 - 9 郭彤楼, 田海芹. 南方中- 古生界油气勘探的若干地质问题及对策[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 244~ 246
Guo Tonglou, Tian Haiqin. Several geology issues about Mesozoic-Paleozoic oil and gas exploration in southern China and the way of how to deal with[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 244~ 246
-
- (上接第48页)
- Zeng Xianbin, Zhang Jinghua, Jin Hui, et al. The distribution rule of natural gas and the screening of profitable exploration areas in foreland basins of central and west China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 12~ 14
 - 63 高瑞琪, 赵政璋. 中国西北地区油气侏罗系分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 2~ 11
 - 64 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 川西前陆盆地“四川运动”及与油气关系[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 276~ 281
Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, et al. Sichuan movement in west Sichuan foreland basin and its relation to oil and gas[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(4): 276~ 281
 - 65 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 126~ 132
Wang Tingbin. Gas pools in China have mainly been formed and finalized during tectonic movements since Neogene[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 126~ 132
 - 66 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
He Dengfa. Cenozoic tectonic evolution and oil gas accumulation in Tarim basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(3): 1~ 8
 - 67 卢华复, 贾东, 陈楚铭, 等. 库车新生代构造性质和变形时间[J]. 地质前缘, 1999, 6(4): 215~ 221
Lu Huaifu, Jia Dong, Chen Chuming, et al. Nature and timing of the Kuqa Cenozoic Structures[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(4): 215~ 221
 - 68 刘树根, 徐国盛, 徐国强, 等. 四川盆地天然气成藏动力学初探[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 323~ 330
Liu Shugen, Xu Guosheng, Xu Guoqiang, et al. Primary study on the dynamics of natural gas pools in Sichuan basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 323~ 330
 - 69 何登发, 周路, 雷振宇, 等. 断层相关褶皱原理在前陆冲断带构造建模中的应用[A]. 见: 中国石油勘探与生产分公司. 中国中西部前陆盆地冲断带油气勘探文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 75~ 90
 - 70 刘树根, 徐国盛, 李巨初, 等. 龙门山造山带- 川西前陆盆地系统的成山成盆成藏动力学[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(6): 559~ 566
Liu Shugen, Xu Guosheng, Li Juchu, et al. A study on the dynamics of mountain-building, basin-formation and natural gas pool formation in the system of Longmen Mountains and west Sichuan foreland basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(6): 559~ 566
 - 71 王庭斌. 新近纪以来的构造运动是中国气藏形成的重要因素[J]. 地质论评, 2004, 50(1): 33~ 42
Wang Tingbin. Tectonic movement since the Neogene: a significant factor of the formation of the gas reservoirs in China[J]. Geological Review, 2004, 50(1): 33~ 42
 - 72 王庭斌. 新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局Ⅱ. 地质前缘, 2004, 11(4): 403~ 416
Wang Tingbin. Characteristics of tectonic evolution in China since Neogene and the distribution pattern of natural gas[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 403~ 416