

前陆盆地 天然气成藏理论及应用

赵靖舟 著

石油工业出版社

国家“九五”重点科技攻关项目
国家重点基础研究发展规划项目 共同资助

前陆盆地天然气成藏理论及应用

赵靖舟 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书对前陆盆地构造变形特征与构造演化史、天然气地球化学特征、天然气成藏年代与成藏史、成藏动力系统与成藏模式、异常压力与天然气藏形成和分布的关系、幕式成藏理论以及大中型气田形成和分布规律等进行了较全面的分析。

本书可供石油勘探科技工作者使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

前陆盆地天然气成藏理论及应用/赵靖舟著.

北京:石油工业出版社,2003.1

ISBN 7-5021-4087-5

I. 前...

II. 赵...

III. 含油气盆地-天然气-油气藏-形成-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 103619 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北徐水印刷厂排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 320 千字 印 1—1000

2003 年 1 月北京第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4087-5/TE·2921

定价:26.00 元

序

油气的成藏问题是油气地质学中的核心问题。石油与天然气的成藏既有共性，也有差异。造成差异的主要原因是天然气分子小，溶解性大，吸附性小，扩散性大，而石油则反之。总的来说天然气的成藏比石油的成藏要更复杂，研究的难度更大，更需要从实践和理论上加以探讨。天然气比石油开发程度低、研究深度低、污染性低。因此，天然气成藏研究不仅是前沿问题，而且成为油气地质学研究的热点。研究天然气成藏，归疏其理论并提出新观点，建立新理论，对天然气地质学的发展和加速我国天然气工业的发展，均有重大的理论和实践意义。

近年来我国天然气工业发展迅速，更快的发展有待西气东输工程实现。西气东输工程启动是受库车前陆盆地发现的克拉2大气田的推动。研究前陆盆地天然气成藏理论，目的为寻找更多克拉2型高效高丰度的大气田，为国民经济发展提供有力的能源支持和保障，为人民改善和优化环境。因此，《前陆盆地天然气成藏理论及应用》专著的问世，理论和实践意义很大。

《前陆盆地天然气成藏理论及应用》以库车前陆盆地为重点，阐述、研究和综合了前陆盆地构造变形特征与构造演化史、天然气地球化学特征及气源对比、天然气成藏年代与成藏史、成藏动力系统和成藏模式、异常压力与天然气藏形成和分布的关系、幕式成藏理论，以及大中型气田形成、分布规律及其勘探方向。该专著资料丰富、博引文献、论证精辟，有新观点、新认识、新发现，有创新，是目前我国前陆盆地天然气成藏研究的重要的新专著，是我国天然气地质学新进展的一环、是我国年轻的油气地质工作者向科技高峰进军的表征、是我国大力勘探开发西部天然气的催生书。正因如此，该书值得读者一读，定会收获匪浅。

《前陆盆地天然气成藏理论及应用》是赵靖舟教授的专著处女作，是在他的博士论文和“99-111”国家科技攻关项目子专题的基础上升华、补充成书的。该书出版可喜可贺。可喜的是他几乎同时获得博士学位和教授职称；可贺的是为我国蒸蒸日上的天然气地学又添花絮，是在1983年我国开始进行首次天然气科技攻关20周年问世。回忆我国首次天然气科技攻关时，不仅探明天然气储量少，仅有 $2889 \times 10^8 \text{m}^3$ ，而且天然气地学人员奇缺。我们领导和组织当时攻关部分同志，强烈呼吁招收该专业硕士和博士。如今，天然气专业博士、硕士人才济济，并著书立说了，使人深感欣慰。如今，不仅天然气储量大幅度在增长，上了 $3 \times 10^{12} \text{m}^3$ 了，而且天然气人才茁壮成长。年轻的天然气科技人员，肩负着把我国建成年产 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 、 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 天然气大国的重任，同时还负有把我国跻身于天然气地学强国的使命。善于开拓，志于创新，静于钻研，勤于实践，天然气大国和强国定能由年轻一代油气工作者来实现。



2002年除夕前夜

前 言

前陆盆地是世界上油气最富集的一类盆地。据统计 (Carmalt 和 John, 1986), 全世界大约有前陆盆地 113 个, 占世界各类沉积盆地总数的 14%, 但其中已发现有大油气田的前陆盆地就有 35 个, 占世界大油气田盆地总数 (约 98 个) 的 35.7%, 其拥有的大油气田数更多达 211 个, 占世界大油气田总数 (509 个) 的 41.5%, 拥有的石油可采储量占世界大油田石油总可采储量的 63.8%, 天然气储量占世界大气田天然气总可采储量的 32.3%。中东地区扎格罗斯山前盆地、阿尔伯达盆地、落基山盆地、阿科马盆地、卡拉库姆盆地、提曼—伯朝拉盆地、伏尔加—乌拉尔盆地、南里海盆地、东委内瑞拉盆地等均是世界上油气资源十分丰富的前陆盆地。在我国, 前陆盆地主要分布于中西部地区, 包括四川盆地西缘、柴达木盆地北缘、准噶尔盆地西北缘和南缘、库车、塔西南、吐哈、酒西、鄂尔多斯盆地西缘等, 均是我国油气资源较丰富的前陆盆地, 且其勘探潜力较大, 是中国中西部地区一个重要的油气勘探领域。因此, 近年来前陆盆地油气勘探在我国再次受到高度重视, 并取得了一系列重大发现, 特别是在库车前陆盆地发现了克拉 2 大气田和一批大中型气田。

值得注意的是, 尽管就世界范围而言, 前陆盆地具有既富油又富气的特点, 但中国中西部许多前陆盆地却明显具有相对富气的特点或者天然气资源比较丰富。如库车、塔西南、准噶尔南缘、柴达木北缘、四川盆地西缘等, 都是天然气资源十分丰富的前陆盆地。事实上, 除上述中国中西部前陆盆地外, 中亚的卡拉库姆、阿富汗—塔吉克盆地等也都是天然气资源较丰富的前陆盆地, 从而构成一个横贯中亚地区至我国中西部盆地的巨型天然气富集带。戴金星院士等 (1995) 称之为中亚煤成气聚集域, 其范围西起里海之滨的孟什拉克盆地, 向东经卡拉库姆盆地分为两支, 南支过阿富汗—塔吉克盆地经阿莱依地堑进入塔里木盆地, 并向东延伸, 北支则可能过锡尔河盆地南部至费尔干纳盆地, 经伊犁盆地到准噶尔盆地, 再至吐哈盆地和三塘湖盆地。其中绝大多数盆地位于特提斯构造带北缘, 包括塔里木盆地、卡拉库姆盆地、阿富汗—塔吉克盆地、费尔干纳盆地、北里海盆地、巴尔喀什盆地等, 贾承造等 (2001) 称之为特提斯北缘盆地群, 并认为这些盆地是在新特提斯海封闭过程中因陆—陆碰撞而形成的再生前陆盆地。

近年来, 天然气勘探取得重大突破的库车前陆盆地即属于中亚煤成气聚集域或特提斯北缘盆地群中一个天然气资源十分丰富的再生前陆盆地。该前陆盆地位于塔里木盆地北部, 北倚南天山造山带, 南邻塔北隆起, 面积约 $4.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ (包括轮台凸起)。该区油气勘探早在 20 世纪 50 年代即已开始, 1958 年发现了塔里木盆地第一个油气田——依奇克里克侏罗系油田。尔后直到 20 世纪 90 年代早中期, 库车前陆盆地的油气勘探才取得了新的突破, 主要是在南部轮台凸起发现了牙哈、英买 7、羊塔克、提尔根等一系列受张性断裂构造控制的凝析油气田。90 年代中期以来, 库车前陆冲断构造带的油气勘探也取得了重大突破, 特别是 1998 年以来, 先后在北部克拉苏—依奇克里克构造带发现了克拉 2、克拉 3、依南 2、吐孜 1、大北 1 等多个大中型气田。其中克拉 2 气田为国内罕见的超高压、特高丰度、高产—特高产大气田, 探明天然气地质储量达 $2840 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。最近, 位于库车前陆盆地南部的秋里塔格构造带天然气勘探也取得了重大突破, 发现了迪那 2 号上第三系吉迪克组凝析气田和却

勒1油藏,其中迪那2气田获天然气探明地质储量 $807.61 \times 10^8 \text{m}^3$,凝析油地质储量 $585.6 \times 10^4 \text{t}$,证实为继克拉2气田之后在库车前陆冲断构造带所发现的第二大气田。

库车前陆冲断带天然气勘探的不断突破,进一步表明该前陆盆地天然气资源十分丰富,是塔里木盆地天然气最富集的地区之一,因而也是塔里木盆地天然气增储上产的主要地区之一。然而,勘探实践表明,库车前陆盆地天然气藏的形成及分布十分复杂,表现在前陆冲断变形十分强烈,异常压力分布普遍,油藏、气藏成因复杂。特别是该区构造变形特征和构造演化史对气藏形成和保存的影响、异常压力成因及其与气藏形成的关系、大中型气田形成机理及其分布规律等,还不很清楚,从而在一定程度上制约了该区油气勘探的进一步深入。

鉴此,近年来,笔者等以库车前陆盆地为重点,对前陆盆地构造变形特征与构造演化史、天然气地球化学特征、天然气成藏年代与成藏史、成藏动力系统与成藏模式、异常压力与天然气藏形成和分布的关系、幕式成藏理论、以及大中型气田形成及分布规律等进行了较全面的天然气地质综合研究,取得了以下主要进展和认识:

(1) 与克拉通盆地不同,前陆盆地构造活动与构造变形比较强烈,特别是中国中西部再生前陆盆地,晚第三纪以来构造活动十分强烈,从而成为控制天然气藏形成和分布的一个重要因素。库车前陆盆地的构造变形和构造演化也十分复杂,中、新生代以来经历了三叠纪周缘前陆盆地、侏罗纪断陷盆地、白垩纪一早第三纪坳陷盆地以及晚第三纪—第四纪再生前陆盆地等4大演化发展阶段,其中拜城—阳霞凹陷主要形成于晚第三纪康村期特别是库车期以来。

(2) 中国中西部前陆盆地天然气主要为来自中生界煤系烃源岩的煤成气,具有独特的地球化学特征。库车前陆盆地天然气亦为煤成气,且具有西干东湿、北干南湿,碳同位素西重东轻、北重南轻的特点,西部克拉2、克拉3等气藏以过成熟干气为主,东部依南2、吐孜1以及新发现的迪那2等气藏主要为成熟—高成熟的湿气或凝析气,但均为来自侏罗系烃源岩的煤成气。天然气中 CO_2 碳同位素、稀有气体(氦、氩)同位素分析也表明,库车前陆盆地所发现的天然气普遍为壳源有机气。另外,该区天然气普遍存在碳同位素倒转现象,其原因可能与多源混合特别是不同成熟气的混合有关。原油性质、生物标记化合物、轻烃组成、碳同位素等对比表明,西部克拉苏地区原油主要为正常密度的湖相油,而东部阳霞凹陷及周缘(包括依南2、吐孜1、迪那2井)的原油主要为煤成油。至于湖相油的来源,以前认为来自三叠系湖相泥岩,但最新研究表明三叠系湖相泥岩有机质丰度较低,类型较差,而侏罗系恰克马克组不仅有有机质类型好,而且有机质含量高,是库车前陆盆地最好的一套湖相烃源岩,其对该区已发现的湖相原油理应有一定的贡献。因此,三叠系和侏罗系湖相暗色泥岩对库车前陆盆地的湖相油可能均有贡献。

(3) 探讨了天然气成藏年代学研究方法,并运用包裹体方法、油藏地球化学方法、油气水界面追溯法、圈闭形成时间法、生烃史法等多种方法综合分析了库车前陆盆地天然气的成藏年代与成藏史,认为该前陆盆地天然气藏经历了晚第三纪康村早期(17~10Ma)、康村晚期—库车早期(10~3Ma)以及库车晚期—西域期(3~1Ma)3期成藏的历史。其中上新世库车晚期—第四纪西域期是库车前陆盆地油气藏形成和演化最重要的一个阶段。一方面,该时期库车前陆盆地三叠—侏罗系烃源岩全面进入高一过成熟阶段,从而形成广泛分布的气藏和凝析气藏,是库车前陆盆地天然气藏形成的主要时期,已发现的克拉2、克拉3、大北1、依南2、吐孜1等气藏均为库车晚期—第四纪西域期成藏。另一方面,该时期又是库车前陆盆地冲断褶皱变形最强烈的时期,加之大量气体的侵入,从而造成早期形成的油气藏普遍发

生调整乃至破坏, 以前陆冲断构造带最为突出。最典型的如大宛齐油田, 便是一个因后期气侵和构造变动而发生调整重新聚集形成的次生油藏, 其原来聚集的位置则形成大北 1 号气藏。由此认为, 库车前陆盆地具有多期成藏, 晚期调整的特点。这也是中国中西部前陆盆地油气藏形成的一个普遍特点。

(4) 讨论了成藏动力系统 (又可称为成藏系统或运聚系统) 的概念及其在含油气盆地研究中的必要性以及在油气勘探中的意义, 认为成藏动力系统是含油气系统内部一个自然的油气运移—聚集系统, 其在盆地内的位置介于含油气系统与区带之间。进而将含油气盆地勘探评价划分为盆地、含油气系统、成藏动力系统、区带和圈闭等 5 个级别的单元。并根据成藏条件、成藏动力等对库车前陆盆地进行了成藏动力系统划分, 认为该前陆盆地可划分为北单斜带、中部前陆逆冲带、轮台凸起 3 个成藏动力系统, 其中中部前陆逆冲带成藏动力系统可进一步划分为第三系盐上与盐下 2 个次级成藏动力系统。盐下成藏动力系统为一自源—近源超压封闭—半封闭型成藏系统, 以形成超压气藏 (包括凝析气藏) 为主; 盐上成藏动力系统则为近源常压开放型成藏系统, 以形成常压油藏为主, 且多为次生油藏。在此基础上分析了库车前陆盆地的成藏模式, 认为该前陆盆地前陆冲断带油气藏的形成至少存在 3 种模式: 即早油晚气式 (克拉 2 式)、早气晚油式 (大北—大宛齐式或依南—依奇克里克式) 以及盐下常压成油式 (却勒 1 式)。

(5) 通过对国内外前陆盆地的调研分析, 探讨了前陆盆地异常压力特别是超压的成因及其与天然气藏形成和分布的关系, 指出前陆盆地超压的形成主要有生烃作用、不均衡压实及构造挤压 3 种成因类型, 其中构造挤压作用是前陆盆地超压形成的一种特有方式。认为前陆盆地与超压带有关的天然气藏主要有 3 种分布模式, 即超压富集、常压贫乏式——克拉 2 式, 超压贫乏、常压富集式——呼图壁式以及超压、常压均较富集式。分析了库车前陆逆冲带异常高压的成因以及超压气藏的形成机理, 认为该区超压不可能为欠压实和构造抬升成因, 而主要为构造挤压与天然气充注引起, 并以构造挤压为主。其中由气体充注所产生的增压在克拉 2 气田约占 27%~37%, 构造挤压占 73%~63%, 说明超压的形成除主要由构造挤压引起外, 充气增压也是一个重要因素, 且克拉 2 气田超压中的充气增压比例在各气藏中最高。其次是依南 2 气藏, 充气增压占 17%, 构造挤压占 83%。克拉 3 气藏充气增压所占比例最小, 约占 6.5%~9%。通过分析, 认为库车前陆逆冲带的地层压力与成藏演化经历了 3 个阶段: ①抬升前正常压力阶段, 为气藏开始形成阶段; ②挤压抬升、超压形成阶段, 为气体大量注入、幕式成藏阶段; ③挤压应力转移阶段, 为气藏保存阶段。进而得出库车前陆逆冲带超压的形成与气藏形成具有一定的因果关系, 构造挤压与天然气的大量充注引起了超压, 超压增大到一定程度后又反过来限制构造挤压, 因而认为库车前陆盆地的超压对气藏的保存具有重要意义。

(6) 讨论了幕式成藏的证据、机理及其在前陆盆地天然气勘探中的意义。指出与渐进式的成藏相比, 幕式成藏的最大特点是快速、高效、运移损失小, 并常常具有周期性, 因而对于高富集度大中型油气田的形成具有十分重要的意义。认为幕式成藏的机理主要有构造幕或构造泵作用、断层阀效应或地震泵作用以及超压积聚效应等 3 种作用。其中构造幕作用是由于在盆地的演化中构造稳定期与活动期的不断交替, 从而必然造成地下流体的周期性活动和幕式流动现象。对于天然气藏的形成来说, 构造泵作用是一种重要的成藏机理, 这种机理可用于解释水溶相天然气的脱气成藏问题。当盆地因构造运动而发生抬升时, 由于温度和压力的降低, 导致水溶气脱溶而形成游离气, 并沿隆升带聚集成藏。断层阀效应或地震泵作用是

断裂带及其附近流体运移的一种重要机理,由于在地震发生前应力集中导致微破裂而形成膨胀,从而增大了断裂带岩石的渗透率,造成周围流体向断层带侵入;当地震发生时,由于应力释放造成震前膨胀崩溃,使得断层带内流体快速排出;地震之后,运移流体促使矿物沉淀,造成渗透率降低。这个过程一般是周期性的,因而油气沿断裂带的运移一般具有幕式特点,是幕式成藏的主要地带。认为幕式成藏在时间上并不完全受生烃窗控制,而主要受控于区域构造运动、断裂活动或异常压力的演化,因此盆地的构造演化史、断裂活动史和异常压力发育史往往决定了幕式成藏史。一般来说,在稳定的克拉通盆地,油气藏的形成以渐进式为主,而在构造相对比较活动的前陆盆地,幕式成藏占有重要地位。因此,对前陆盆地天然气的勘探而言,研究幕式成藏具有重要意义。

(7) 总结分析了中国中西部前陆盆地特别是库车前陆盆地大中型气田的形成规律,指出生烃中心附近是大中型气田形成的主要部位,优质区域盖层之下是天然气最富集的部位,隐伏断裂带附近是大中型气田形成的最有利部位,完整的背斜圈闭是天然气成藏最有利的圈闭,多期成藏、晚期保存是中国中西部前陆盆地大中型气田形成的一个普遍规律,超压富气、常压富油是库车前陆盆地天然气藏形成的一个重要规律。并对库车前陆盆地大中型气田的勘探方向做了分析预测,认为克一依构造带和秋里塔格构造带仍是该前陆盆地寻找大中型气田的最有利地区。

本书集中反映了上述研究成果和认识,它是在笔者博士论文“库车前陆盆地天然气成藏机理与成藏规律”的基础上修改补充完成的。希望本书能够对中国中西部前陆盆地的天然气勘探具有参考意义。

本项研究得到国家“九五”重点科技攻关项目“塔里木盆地石油与天然气勘探(二期)”(编号 99-111)与国家重点基础研究发展规划项目“高效天然气藏形成分布与凝析、低效气藏经济开发的基础研究”(编号 2001CB209100)的共同资助。在原博士论文工作期间,我的两位指导老师中国科学院院士、中国石油勘探开发研究院戴金星教授与中国石油天然气股份有限公司总地质师贾承造教授曾给予了笔者大力支持和悉心指导。中国石油勘探开发研究院赵文智教授、顾家裕教授、梁狄刚教授、宋建国教授、周兴熙教授、宋岩教授、薛良清教授、靳久强教授、李小地高工、胡云杨高工、李启明高工、张保民高工等,石油大学金之钧教授、王铁冠教授、钟宁宁教授,西北大学赵重远教授、刘池阳教授以及塔里木油田公司周新源教授、王招明教授、田军高工、买光荣高工、皮学军高工、王清华高工等也给予了热情指导和鼓励。此外,中国石油天然气集团公司科技发展部方朝亮教授、中国石油股份公司科技信息部李先奇博士、国家“九五”科技攻关项目办公室张师本教授、李良辰教授、姚慧君教授、973 天然气项目办公室王红军博士后等也提供了许多帮助,秦胜飞博士还参与了第二章的编写工作。特此表示衷心感谢。最后还要特别感谢戴金星院士在百忙之中应邀为本书欣然作序以及对笔者的再次鼓励。

需要说明的是,由于天然气成藏研究是一项综合性很强的石油天然气地质综合研究,涉及到生、储、盖、运、圈、保的每一个方面,研究难度较大,加之笔者水平有限,因而书中难免有错误和不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2002 年 9 月于西安

目 录

第一章 前陆盆地构造特征	(1)
第一节 盆地结构和构造特征	(1)
一、盆地类型	(1)
二、基底性质及结构	(2)
三、构造单元划分	(3)
四、构造变形特征	(5)
第二节 中、新生代构造演化史	(7)
一、三叠纪周缘前陆盆地阶段	(8)
二、侏罗纪断陷盆地阶段	(9)
三、白垩纪一早第三纪坳陷盆地阶段	(10)
四、晚第三纪—第四纪再生前陆盆地阶段	(11)
第二章 天然气地球化学特征及气油源对比	(16)
第一节 天然气地球化学基本特征	(16)
一、天然气组分特征	(16)
二、天然气碳同位素特征	(21)
第二节 气源对比	(28)
一、天然气组分特征对比	(28)
二、天然气同位素特征对比	(30)
三、轻烃特征	(34)
第三节 油源对比	(38)
一、原油性质和组成特征	(39)
二、原油及族组成碳同位素特征	(41)
三、生物标志物特征	(43)
第三章 天然气成藏年代与成藏史	(48)
第一节 成藏年代学的研究意义和方法	(48)
一、成藏年代学的研究意义	(48)
二、成藏年代学研究方法	(48)
第二节 天然气成藏年代分析	(49)
一、圈闭形成时间法	(49)
二、生烃史分析法	(54)
三、饱和压力/露点压力法	(60)
四、油藏地球化学方法	(62)
五、有机包裹体方法	(69)
六、同位素测年法	(78)
七、油气水界面追溯法	(81)

第三节 天然气成藏年代与成藏史·····	(85)
一、天然气成藏年代综合分析·····	(85)
二、天然气成藏史·····	(85)
第四章 成藏动力系统与成藏模式·····	(89)
第一节 成藏动力系统的概念与划分·····	(89)
一、成藏动力系统的概念·····	(89)
二、成藏动力系统在含油气盆地勘探中的位置·····	(91)
三、成藏动力系统划分的原则和方法·····	(91)
第二节 前陆盆地成藏动力系统划分·····	(97)
一、库车北单斜带成藏动力系统·····	(98)
二、库车中部前陆逆冲带成藏动力系统·····	(99)
三、轮台凸起成藏动力系统·····	(99)
第三节 成藏模式探讨与典型油气藏剖析·····	(100)
一、成藏模式探讨·····	(100)
二、典型油气藏剖析·····	(107)
第五章 异常压力与天然气成藏·····	(121)
第一节 超压的分类及其成因判别·····	(121)
一、超压的分类·····	(121)
二、超压形成的地质条件·····	(122)
三、超压的成因类型及成因判别·····	(123)
第二节 前陆盆地超压成因与超压大气田形成机理·····	(126)
一、库车前陆盆地超压分布特征·····	(126)
二、库车前陆盆地超压成因探讨·····	(128)
三、库车前陆盆地超压大气田形成机理·····	(137)
第三节 前陆盆地超压与天然气藏形成和分布的关系·····	(139)
一、超压与油气藏形成和分布的一般关系·····	(139)
二、前陆盆地超压与天然气藏形成及分布的关系·····	(144)
第六章 幕式成藏理论·····	(153)
第一节 幕式成藏理论的提出及其证据·····	(153)
一、幕式成藏理论的提出·····	(153)
二、幕式成藏的证据·····	(155)
第二节 幕式成藏的机理·····	(159)
一、构造幕(构造泵)作用·····	(159)
二、断层阀效应或地震泵作用·····	(161)
三、超压积聚效应·····	(163)
第三节 幕式成藏理论及其勘探意义·····	(164)
一、幕式成藏理论·····	(164)
二、幕式成藏理论的勘探意义·····	(165)
第七章 大中型气田形成规律及勘探方向·····	(167)
第一节 大中型气田形成规律·····	(167)

一、有效烃源岩及其有机质类型控制了油气分布的基本特点·····	(167)
二、优质区域盖层下是天然气最富集的部位·····	(169)
三、隐伏断裂带附近是大中型气田形成的主要部位·····	(172)
四、完整的背斜构造是天然气成藏最有利的圈闭·····	(175)
五、超压富气，常压富油·····	(177)
六、多期成藏，晚期保存·····	(179)
第二节 大中型气田勘探方向·····	(182)
一、中国中西部前陆盆地大中型气田勘探方向·····	(182)
二、库车前陆盆地大中型气田勘探方向·····	(182)
参考文献·····	(185)

第一章 前陆盆地构造特征

前陆盆地与克拉通等其它类型盆地的一个显著区别在于其独特的构造面貌。与克拉通盆地相比，前陆盆地构造活动比较强烈，褶皱冲断构造发育，构造变形比较复杂。因此，研究前陆盆地天然气藏的形成与分布，不能不研究其构造变形特征与构造演化史。

库车前陆盆地位于塔里木盆地北部边缘南天山山前（图 1-1），为一中、新生代发育起来的前陆盆地，中、新生界沉积厚达 12000m。盆地内自北而南发育着数排褶皱冲断构造，构造变形十分复杂，特别是晚第三纪以来经历了强烈的褶皱冲断活动，从而成为影响该前陆盆地油气聚集成藏一个十分重要的控制因素（康玉柱等，1996；贾承造等，1997，2000，2001）。

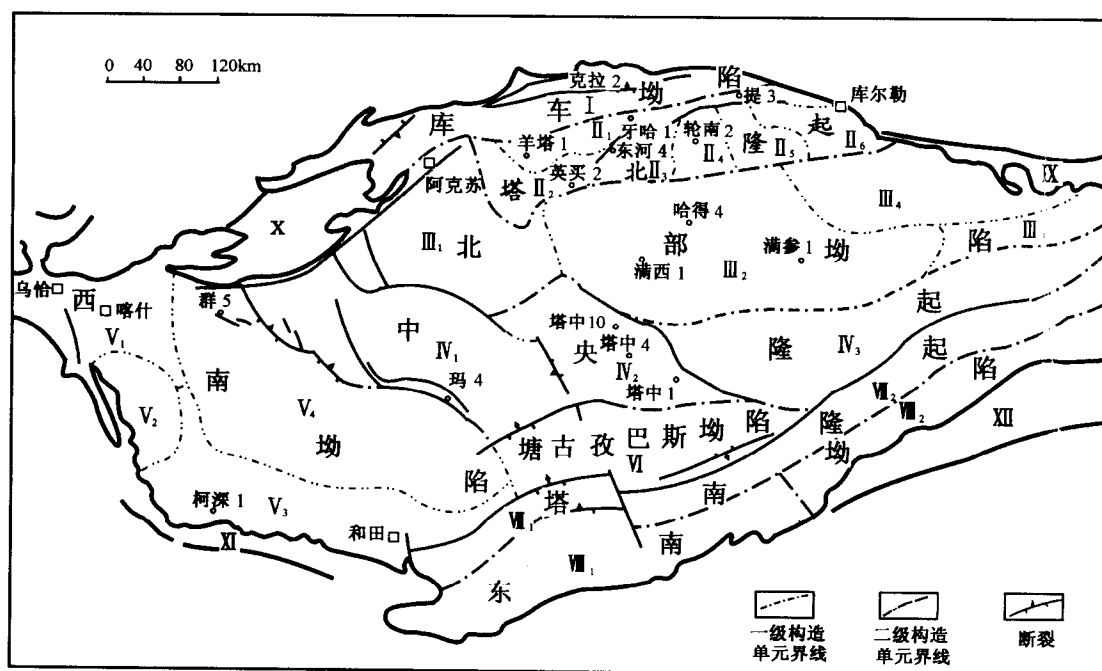


图 1-1 塔里木盆地构造单元划分图

第一节 盆地结构和构造特征

一、盆地类型

关于库车前陆盆地的性质或盆地类型，目前尚存在不同认识。贾承造等（1997）认为库车坳陷在三叠纪为前陆盆地，侏罗—白垩纪为坳陷型盆地，早第三纪为断陷盆地，晚第三纪

—第四纪属再生前陆盆地性质。卢华复等（1996）认为该拗陷为一新生代再生前陆盆地，并上叠了一个第四系拉分盆地拜城凹陷。钱祥麟等（1994）认为库车拗陷并非真正意义上的前陆盆地，而为一中、新生代形成的陆内挤压挠曲盆地。何登发等（1996）认为该拗陷在晚二叠世—侏罗纪为早期前陆盆地，具有弧后前陆盆地性质，白垩—第四纪属晚期前陆盆地。可见，库车前陆盆地是一个十分复杂的盆地，其在不同的发展历史时期具有不同的盆地原型。

最近，贾承造等（2001）认为，库车前陆盆地以及塔西南前陆盆地同准噶尔、吐哈、四川、卡拉库姆、阿富汗—塔吉克、费尔干纳、北里海、巴尔喀什等盆地一样，在中生代时均处于特提斯构造带北缘，称之为特提斯北缘盆地群，并认为这些盆地是在新特提斯海封闭过程中因陆—陆碰撞而形成的再生前陆盆地（图 1-2）。

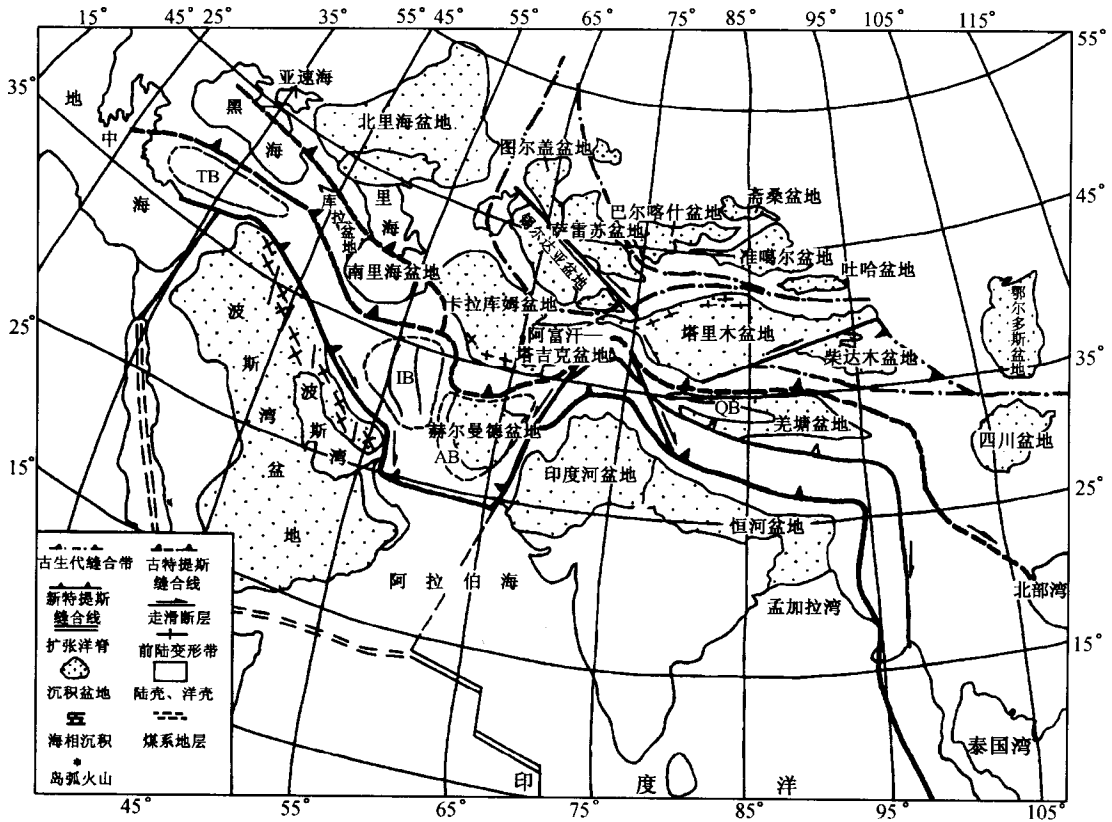


图 1-2 特提斯构造域及相关盆地群分布图（据贾承造等，2001）

二、基底性质及结构

库车前陆盆地的基底为前中生界，包括古生界和元古界。其前中生界基底在盆地内存在着显著的南北差异，分界线在北部克—依构造带一线。该带以北，盆地基底以晚古生代岩系和同期近东西向展布的侵入岩为主，地面地质调查证实晚古生代地层在拗陷北部广泛分布；侵入岩则主要分布于依奇克里克至吐格爾明一带，由依南 2 井向东延伸 100km 以上，南北宽近 15km，在吐格爾明断层上升盘地表露头可见中生界超覆沉积于侵入岩系之上。克—依构造带以南的广大中南部地区主要为早古生代和元古代基底（贾承造等，2000）。其中，古

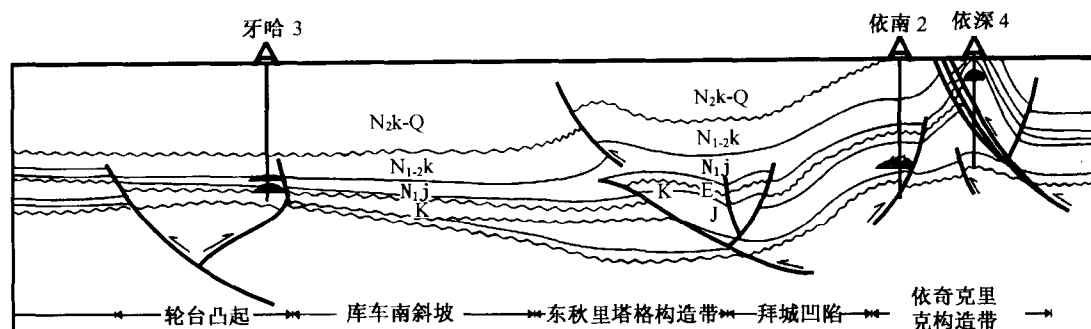


图 1-5 库车前陆盆地东部构造剖面图

外，还形成了一些断层相关褶皱。

北部单斜带是库车前陆盆地地表出露地层最老的地区，地面可见二叠系和中生界不同程度出露。向南（斯的克背斜带）可分为东、中、西 3 段。东段出露背斜构造规模较大，宽约 2km，长约 26km，均为东西走向，向西倾伏，由三叠系和侏罗系构成；中段北为捷斯德里克背斜，为断层转折褶皱，南为比尤勒包谷孜背斜，为断层传播褶皱。西段在黑英山以西，有米斯布拉克背斜、艾东背斜、巴什库坦背斜和因奇克切列克背斜，均由三叠系、侏罗系构成。根据背斜两翼出露地层时代分析，该构造带主要形成于燕山期—喜马拉雅期，并以晚喜马拉雅期构造变形为主。在巴什库坦背斜南翼，可见下第三系库姆格列木组不整合覆于白垩系不同层位之上，下白垩统巴什基奇克组在该翼被削蚀尖灭。再如捷斯德里克背斜和比尤勒包古孜背斜，核部出露地层为三叠系，两翼出露地层为侏罗—白垩系，说明北部单斜带在白垩纪末经历了广泛的抬升剥蚀。另由盆地演化史分析可知，北部单斜带三叠—侏罗纪甚至白垩纪曾是库车前陆坳陷的沉降中心，说明该构造带当时尚未形成或者只出现构造雏型，白垩纪末燕山运动后至晚喜马拉雅期才发生强烈逆冲抬升。

（二）克拉苏—依奇克里克断层传播褶皱与双重构造叠加构造带

该构造带在地表和新生界浅层由两排构造组成，北排为库姆格列木—巴什基奇克背斜带，南排为喀桑托开—吉迪克背斜带，二者之间为图舍科依向斜。这两排构造均是发育在第三系浅层至地表的断层传播褶皱，是由发育在图舍科依向斜下第三系滑脱层中的北倾逆冲断层与南倾反冲断层分别向南和向北背冲形成的背斜对。两排构造的深层仅发育一排构造，主要为断层转折褶皱逆冲叠覆形成的被动顶板双重构造。就该构造带的形成时间而言，可能在晚第三纪中新世就有明显逆冲褶皱，以致其南侧的拜城凹陷成为该时期库车前陆坳陷的沉积中心。但强烈的逆冲推覆变形主要发生于晚第三纪上新世以来，理由是该构造带地表构造两翼主要出露的是上第三系，在库姆格列木背斜以北的卡赞奇向斜和以南的图舍科依向斜，出露的最新地层为上第三系库车组（ N_2k ），在喀桑托开背斜南翼可见第四系西域组（ Q_4x ）向北超覆于库车组之上。在吐孜玛扎背斜两翼，西域组与库车组为明显的角度不整合接触。因此，克—依构造带可能于中新世开始出现雏型，上新世末喜马拉雅期运动后基本定型。

（三）拜城凹陷

该凹陷为一新生界凹陷，发育有与向南逆冲断层有关的盐背斜即大宛齐背斜。该背斜新生界为滑脱褶皱，核部下第三系膏盐岩明显加厚，深层发育被动顶板双重构造。其地表出露最新地层为第四系西域组，且拜城凹陷也是西域组磨拉石建造的沉积中心，说明大宛齐构造

定型于第四纪更新世末。其形成可能在上新世末,原因是该时期克—依构造带向南曾发生了强烈的逆冲推覆,从而使大宛齐地区中生界构造层受到挤压而发生冲断推覆形成双重构造层,新生界则形成滑脱盐拱褶皱。位于大宛齐背斜稍北的下伏断层转折褶皱即大北背斜。

(四) 阳霞凹陷

阳霞凹陷沿阳霞—亚肯3井北—库车一线分布,位于东秋里塔格断裂带的南侧。从侏罗、白垩纪的残厚图来看,该凹陷在中生代尚为一北倾斜坡,未形成独立的凹陷,这种状态一直持续到库车组沉积前。直至上新世(库车组)和第四纪沉积期间,阳霞凹陷才有明显反映。

(五) 秋里塔格断层传播褶皱与双重构造叠加构造带

该构造带是库车前陆逆冲带的前锋。其中段地表浅层与克—依构造带相似,亦由南北两排构造组成,向东西两侧则并为一排构造。中段的两排构造是由南侧倾向前陆的反冲断层与北侧倾向后陆的逆冲断层沿第三系滑脱层相互对冲形成的,从而形成了南北两排断层传播褶皱,其间为向斜构造。该构造带深层亦只有一排构造,主要为发育于中生界构造层的双重构造。无论是浅层还是深层的逆冲断层,都比克—依构造带更为平缓,反映了逆冲带前锋的推覆变形特征。该构造带局部构造可能开始形成于上新世,定型于第四纪更新世末。原因是,其南侧的轮台断隆及其两侧附近曾是库车组的沉降中心,反映秋里塔格构造带向南发生了强烈逆冲推覆。但地面构造两翼最新地层为西域组,其上为近代沉积不整合覆盖,说明秋里塔格构造带是在更新世末才基本定型的。

(六) 南部平缓滑脱背斜带

该构造带由亚肯背斜、库车背斜、西库车背斜等局部构造组成,其共同特点是褶皱平缓,两翼倾角小且基本对称,深浅层构造高点基本一致,断裂较不发育,反映了远离造山带的构造特征。其构造变形以发育平缓的滑脱褶皱为特征。该构造带上新世曾是塔北前陆盆地的沉降中心,地面构造由库车组和西域组构成,说明构造形成时间为第四纪更新世,与秋里塔格构造带定型时间相同。

由以上分析可以看出,库车前陆逆冲带是一种典型的前展式或背驮式冲断系统,构造变形由北向南逐渐推进,从而形成了北早南晚的构造演化格局以及现今地表海拔北高南低的面貌。其发育特点是,在每一期逆冲带形成的同时,其前缘形成前渊,后缘形成背驮盆地,前渊为沉降中心,后缘则为次沉降中心。其中晚二叠世—侏罗纪时,北缘逆冲带首先发育,其前缘为三叠—侏罗纪沉降中心,后缘因天山造山带的多次冲断而逆冲抬起。中新世,克—依构造带开始发育,其前缘拜城凹陷成为沉降中心,后缘开始形成卡赞奇背驮盆地。上新世库车组沉积时,秋里塔格背斜带开始发育,其后缘拜城凹陷由前期的前渊转为背驮盆地,前渊位置则转移至轮台断隆一带。但到了上新世末以后至第四纪更新世,库车前陆逆冲带除了继续发生冲断变形外,沉降中心和冲断变形再未发生南移,原来的沉降中心轮台断隆及其南北两侧反而发生构造反转,形成北倾斜坡。其原因就在于上新世末喜马拉雅晚期运动后,塔里木盆地构造运动机制发生了显著改变,由以前的以挤压逆冲为主转为在挤压的同时以走滑运动为主,从而在塔里木盆地东南缘和西北缘产生了大规模的左行走滑运动,在库车前陆盆地形成了拜城拉分盆地(卢华复等,1994),其第四系西域组沉积厚达数千米。可见,上新世—更新世是库车前陆盆地构造演化的一个重要转折时期。

四、构造变形特征

库车前陆盆地发育多个滑脱层或滑脱面。自上而下有:上第三系吉迪克组膏泥岩滑脱

层、下第三系膏盐岩和膏泥岩滑脱层、侏罗系泥页岩及煤层滑脱层、三叠系泥页岩滑脱层、中生界与古生界间的不整合面、古生界与前震旦系基底间的不整合面。其中前震旦系基底顶面、中生界与古生界间的不整合面、下第三系膏盐岩和膏泥岩是区内 3 个主滑脱面，其余均为次级滑脱面。3 个主滑脱面中的中生界顶面和前震旦系基底顶面又以前震旦系基底顶面为主，该滑脱面主要发育在坳陷北部，向南至秋里塔格构造带可能向上并入中生界与古生界间的滑脱面中。由于这 3 个主滑脱层的底界或者主滑脱面本身同时又是区域性的不整合面（下第三系底不整合、中生界底不整合、前震旦系顶不整合），其上下地层的构造变形特征又相互不同，因而可据此将库车前陆逆冲带分为 3 大构造层（图 1-6、图 1-7）。

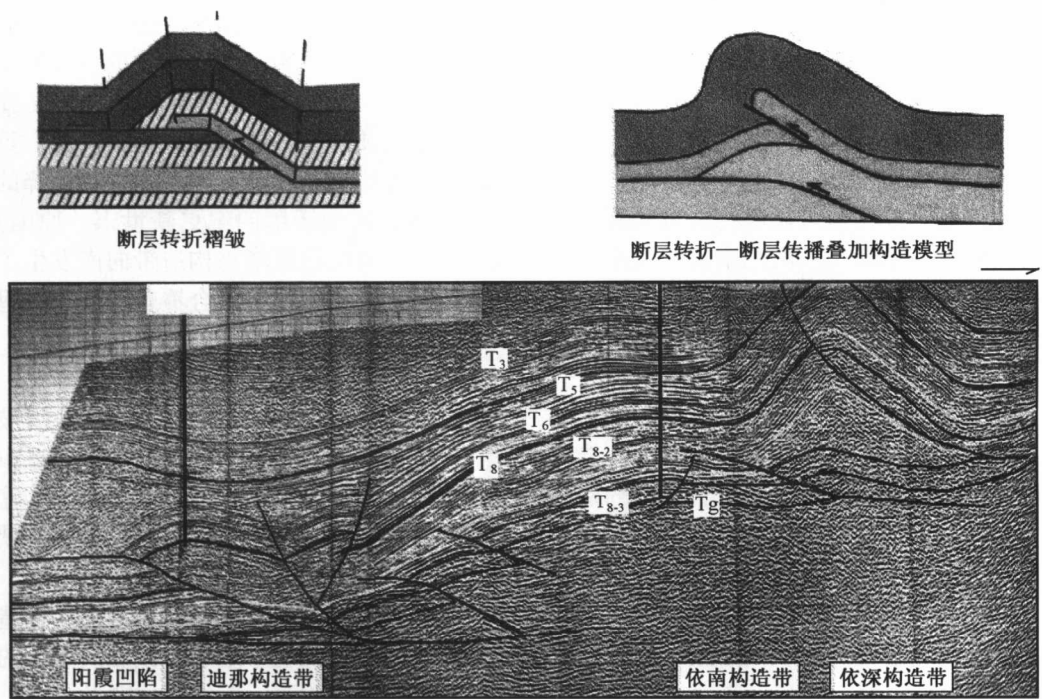


图 1-6 迪那一依南地震剖面图（据塔里木油田公司，2001）

（一）新生界构造层

该构造层以下第三系膏盐岩和膏泥岩为主滑脱层，次级滑脱面为上第三系吉迪克组膏泥岩。构造变形以形成断层传播褶皱为主，其次为滑脱褶皱。其中较典型的断层传播褶皱在北部克一依构造带有喀桑托开背斜、库姆格列木背斜、巴什基奇克背斜、吐孜玛扎背斜、依奇克里克背斜等；在南部秋里塔格构造带有东秋里塔格背斜、南秋里塔格背斜、北秋里塔格背斜、库车塔吾背斜等。其共同特征是，滑脱面为下第三系膏盐岩和泥岩或上第三系吉迪克组膏泥岩和泥岩，背斜两翼极不对称，前翼甚至常常倒转。滑脱褶皱主要发育在南部平缓构造带和大宛齐背斜，其中大宛齐背斜轴部下第三系膏盐岩明显加厚，说明背斜是在南北挤压下沿膏盐层底面滑脱形成的。另外，在新生界构造层还发育三角带构造（如南、北秋里塔格断层之间）、刺穿底辟构造（如治克奇根构造）等。

（二）中生界构造层

中生界构造层以前震旦系变质岩顶面为主滑脱面，向南至秋里塔格构造带可能以断坡形