

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0175- 05

库车前陆盆地喜马拉雅运动特征及其油气地质意义

曾联波

(石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102200)

摘要: 根据构造变形解析和岩石记忆信息, 库车前陆盆地的喜马拉雅运动可以划分为 3 期, 它们对应的时间分别为渐新世末、上新世末和早更新世末, 其构造挤压强度依次由弱变强, 在喜马拉雅晚期达到高峰, 是该区构造的主要变形期和定格期, 也是该区异常高压形成和油气成藏的主要时期。中更新世以来为新构造运动阶段, 主要表现为 2~ 3 次重要的抬升和相对较弱的褶皱逆冲变形, 并对该区的油气藏主要起破坏作用。库车前陆盆地的构造变形从喜马拉雅早期开始发育, 各构造带的发育时间从北往南依次由早变晚, 它控制了该区断层相关褶皱、构造圈闭及其油气藏的带状分布规律。喜马拉雅晚期强烈的水平构造挤压是该区异常高压形成的主要因素, 是该区油气形成分布的主要控制因素和驱动力, 喜马拉雅运动对该区的油气藏有一定的破坏调整作用。

关键词: 喜马拉雅运动; 油气地质意义; 油气成藏; 库车前陆盆地

中图分类号: TE111. 2 文献标识码: A

Characteristics and petroleum geological significance of Himalayan orogeny in Kuqa foreland basin

Zeng Lianbo

(Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing)

Abstract: Himalayan orogeny is the main period of tectonic deformation and finalization of structures, as well as occurrence of abnormal high pressure and hydrocarbon accumulation in Kuqa foreland basin. Based on analysis of tectonic deformation and rock memory information, Himalayan movement in Kuqa foreland basin can be divided into three stages, corresponding to the end of Oligocene, the end of Pliocene and the end of early Pleistocene, with compressional intensity progressively strengthening and reaching peaks in late Himalayan. The neotectonics since middle Pleistocene mainly result in two or three uplifts, relatively weak folding and thrusting, and destruction of hydrocarbon accumulations in the area. Structural deformation in Kuqa foreland basin have been developed since early Himalayan, and the structural zones have successively been developed later and later southwards, which control the zonal distribution patterns of thrust folds, structural traps and oil and gas pools. The strong lateral compression in late Himalayan orogeny is the main factor leading to the abnormal high pressure, and the main controlling and driving forces for hydrocarbon migration and accumulation. Himalayan orogeny destroys and adjusts, to some extent, oil and gas reservoirs in the area.

Key words: Himalayan orogeny; petroleum geological significance; hydrocarbon accumulation; Kuqa foreland basin

喜马拉雅运动是指新生代以来的造山运动^[1], 在我国西部诸沉积盆地都表现得十分明显^[2, 3], 不仅对早期的克拉通盆地有改造作用, 更重要的是还在山前形成了一系列诸如库车的前陆盆地, 并控制了这类盆地的形成演化与油气成藏

等重要事件。现有大量研究成果表明, 库车前陆盆地的构造变形及其圈闭主要是在喜马拉雅运动的作用下形成, 尤其是喜马拉雅中晚期的构造运动对其构造的最终定型起了决定性作用^[3~ 5]。

库车前陆盆地位于塔里木盆地北部, 南天山

造山带的南侧,西起温宿,东至库尔勒,南在轮台-库车-阿克苏公路一线与塔北隆起相邻。库车前陆盆地主要发育有中生代地层,最厚可达 10 000 m,其中中生代沉积厚度一般为 2 000~3 000 m,最厚为 4 000 m,为湖泊-沼泽-河流相沉积;而新生代地层厚度一般为 3 000~5 000 m,最厚可达 8 000 m,为湖泊-河流相沉积。库车前陆盆地发育侏罗系、白垩系一下第三系和上第三系 3 套主要的储盖组合,分别发现了 YN2, KL2 和吐孜洛克等油气藏。

在纵向上,由于存在上第三系吉迪克组膏泥岩、下第三系膏泥(盐)岩、侏罗系-三叠系煤系地层以及基底拆离面 4 个滑脱面,使构造变形具有明显的分层性。在平面上,受 4 条近东西向基底滑脱逆冲断层控制,自北向南发育了北部单斜带、克拉苏-依奇克里克构造带、拜城-阳霞凹陷、秋里塔格构造带和前锋构造带的构造格局,使构造变形表现出明显的分带性。该区的构造分带性同样也控制了油气藏的带状分布特点。受边界条件和基底性质的影响,构造在东西向的分布还具有分段性。

1 期次划分

对喜马拉雅构造期次的划分,不同学者持有不同观点。根据喜马拉雅造山带研究,喜马拉雅运动通常包括 3 个主要造山幕^[1]:第一幕在始新世末-渐新世初期;第二幕开始于中新世初期,有强烈褶皱、断裂、岩浆侵入和变质作用等,形成了大规模的逆冲断裂和推覆构造;第三幕从更新世

喜马拉雅地区相对滞后。喜马拉雅中晚期是该区构造的主要变形时期,形成了逆冲断层及其相关褶皱,并最终于库车中期——西域期定格。

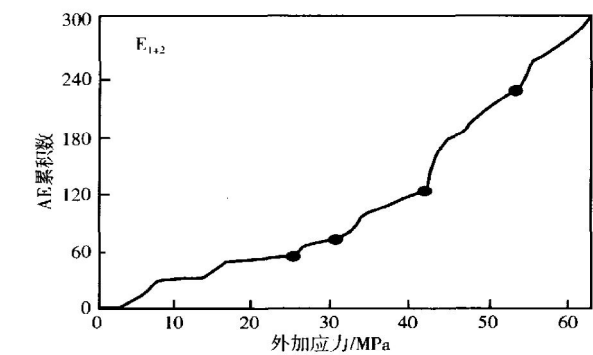


图 1 库车前陆盆地古近纪地层岩石声发射实验响应曲线图
Fig. 1 Typical response curve of total acoustic emission in Paleogene strata in Kuqa foreland basin

根据不同地层岩石声发射实验记忆的最大主应力大小以及根据平衡剖面求得的变形缩短量分析,喜马拉雅运动的构造挤压强度从早期到晚期依次由弱变强。根据对库车前陆盆地的钻井岩心和库车河露头剖面不同地层的岩石声发射实验数据从新至老逐一进行筛选,从喜马拉雅早期到喜马拉雅晚期,其平均最大有效应力值依次由小增大(表 1)。根据该区平衡剖面分析反映的变形缩短量来看,喜马拉雅早期的缩短量占新生代以来总缩短量的 10% 左右,而喜马拉雅晚期的缩短量占新生代以来总缩短量的 77%~83%,与岩石记

1 为渐新世末-渐新世初期,第二幕开始于中新世初期,有强烈褶皱、断裂、岩浆侵入和变质作用等,形成了大规模的逆冲断裂和推覆构造;第三幕从更新世

喜马拉雅中期	N	23.3~ 2.6	66.5
喜马拉雅早期	E	65.0~ 23.3	47.7

根据该区生长三角计算出的各阶段断层滑移

速率^[3],新近纪吉迪克组沉积期的断层滑移速率为0.10~0.71 mm/a,康村组沉积期的断层滑移速率为0.13~0.40 mm/a,库车组沉积期的断层滑移速率为0.76~2.11 mm/a,西域组沉积期的断层滑移速率为1.33 mm/a。反映了喜马拉雅中晚期的构造活动在由北向南依次扩展的过程中,活动断层的数量逐渐增加,断层活动的速率和强度也在递增,说明了其构造挤压的强度在逐渐增大。在地震剖面上,没有发现早第三纪生长地层,说明喜马拉雅早期的构造活动强度比中晚期相对要弱,与前面的资料完全一致。

根据该地区河流阶地和地表构造变形特征分析,中更新世以来的构造变形特征与前3次构造运动明显不同,主要表现为2~3次重要的抬升和相对较弱的褶皱逆冲构造运动,并对该区油气藏起调整和破坏作用。该时期的最大有效应力值较低,与喜马拉雅中晚期的有效应力有较大的差别(表1),表现出明显不同的特征。根据该时期的构造特征及其对该区油气成藏的影响,该区中更新世以来的时期可以称为新构造运动阶段,不应该划为喜马拉雅晚期,也就是说喜马拉雅晚期应该在中更新世以前。

2 构造特征

喜马拉雅期是库车前陆盆地构造的主要变形时期。库车前陆盆地的构造变形主要从喜马拉雅早期开始发育,在喜马拉雅晚期定格。逆冲断层的活动时间分析表明,该区逆冲断层及其相关褶皱主要在中新世吉迪克组沉积期至第四纪西域组沉积期形成,主活动带由山前向盆地内不断扩展,沉积、沉降中心也随之由北向南迁移^[3],表现为在平面上各构造带的发育时间从北至南依次由早变晚。北部单斜带从中新世初期开始发育,克拉苏-依奇克里克构造带从中新世中期开始发育,大宛齐构造带从上新世中期开始发育,秋里塔格构造带从上新世晚期开始发育^[4,5]。

喜马拉雅运动在库车前陆盆地的构造变形整体上具有南北分带、上下分层、东西分区的特点^[3,5]。在喜马拉雅运动的构造挤压作用下,库车前陆盆地发育的构造样式有逆冲推覆构造、走滑构造和伸展构造,其中以逆冲推覆构造样式为主(图2)。在该区可以建立10种褶皱-逆冲断层的基本构造模式^[6],它们广泛分布在后缘冲断带及前锋冲断带。

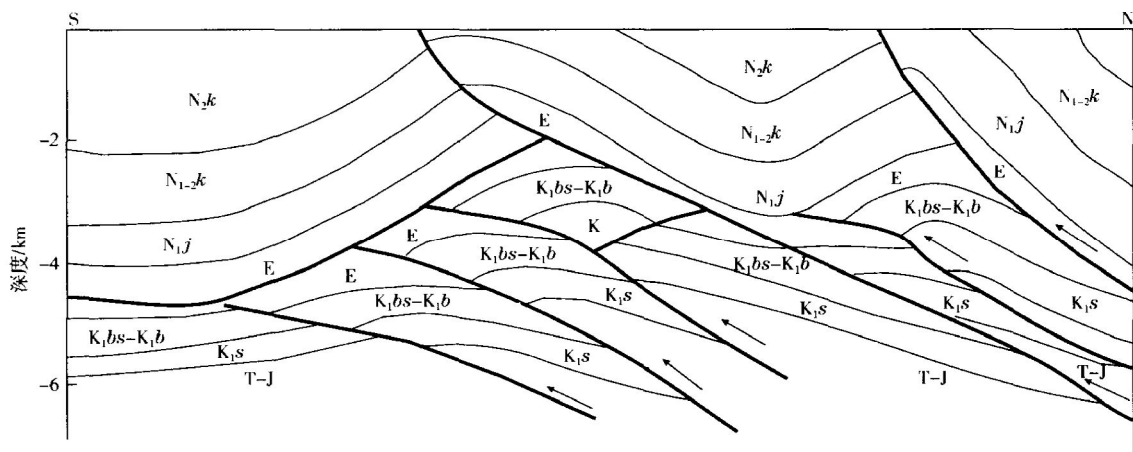


图2 克拉苏构造带典型构造模式图

Fig. 2 Typical structural patterns in Kelasu structural zone

逆冲推覆构造样式包括断弯褶皱、断展褶皱、断滑褶皱、对冲构造、冲起构造、构造三角带、叠瓦构造、被动顶板双重构造等,在不同的构造部位其分布有较大差异^[6]。在克拉苏构造带,盐上构造主要表现为断展褶皱,盐下以叠瓦构造和双重构造为主;依奇克里克构造带以叠瓦状高角度冲断

系和断弯褶皱为特征;秋里塔格构造带西段盐下为低幅度背斜或断背斜,盐上为高角度对冲构造;秋里塔格构造带东段盐下为低幅度断弯背斜,盐上为高角度断展褶皱。

走滑构造样式主要表现为一系列近南北向的走滑断层及其伴生的花状构造,为压扭作用下形

成的结果。最典型的走滑构造为喀拉玉尔滚走滑断裂带,它是西区乌什凹陷和温宿凸起与中区吐北-克拉苏构造带及其以南地区的分界线,对不同区块由于基底和边界条件差异而引起的构造变形差异起调节作用。

伸展构造样式主要分布在前缘隆起带,表现为正断层组合而成的掀斜断块或同沉积正断层,为挤压作用下前缘隆起带由于隆升而派生的局部拉张应力场作用下的产物。

3 油气意义

3.1 喜马拉雅晚期强烈的构造挤压是异常高压形成的主要因素

异常高压对库车前陆盆地油气藏的形成和保存有十分重要的作用,它是库车前陆盆地形成大型油气藏(尤其是气藏)的必要条件。异常高压的形成分布及其与烃源岩、储集层、油气运移时期等成藏地质要素之间的时空匹配关系,是影响异常高压对油气成藏作用的关键。

平面上,库车前陆盆地的地层压力系数由北向南大致呈近东西向带状分布,异常压力高值区主要分布在中部的吐北-克拉苏-东秋里塔格-迪那构造带,其地层压力系数最高在2.0以上,往南北两侧递减,其中北侧递减的速度比南侧快。至塔北隆起带,地层压力基本为正常压力系统。

纵向上,库车前陆盆地异常高压基本上都是从下第三系底开始出现,下第三系巨厚的膏盐层是形成异常高压的必要条件。凡是膏盐岩和膏泥岩不发育的地方,一定不存在异常高压。一般来说,膏盐岩的厚度大于400~500 m,其下就可能存在高压,但也并不是巨厚的膏盐岩和膏泥岩下面就一定存在高压,还与其所在的构造部位有关。

根据该区地质资料,在否定了欠压实作用、生烃后的气体充注作用、流体膨胀机制等是库车前陆盆地异常高压的可能成因机理以后,许多学者认为构造挤压和构造侵位是库车前陆盆地异常高压形成的主要因素^[7~9]。根据异常压力和构造应力的分布规律及其相互关系,笔者认为喜马拉雅晚期强烈的水平构造挤压作用是形成库车前陆盆地甚至是西部山前构造带异常高压的主要因素。

在形成时间上,库车前陆盆地异常高压主要形成于喜马拉雅晚期,该时期正好是该区构造挤压和构造变形最强烈时期。从异常高压平面分布

规律看,库车前陆盆地地层压力系数最大的区域正好是该区构造变形和构造应力集中区,两者具有很好的一致性。根据多口钻井实测的地层压力及其相应的构造应力进行对比分析,结果也表明了这一点。另外,物理模拟实验也证实了该区异常高压的水平构造挤压形成机制。

在喜马拉雅晚期强烈的构造挤压作用下,岩石孔隙体积变小,由于上覆下第三系巨厚的膏盐岩或膏泥岩盖层起到了良好的封堵作用,流体排泄不出去,水平挤压应力部分由孔隙中的流体承受,使得流体压力升高,从而形成了库车前陆盆地的异常地层高压。

3.2 喜马拉雅运动控制了油气的形成与分布

库车前陆盆地的烃源岩主要为中生界三叠系和侏罗系湖相暗色泥岩与煤系地层,烃源岩成熟度具有西高东低的特点。三叠系烃源岩在古近纪晚期进入生油高峰期,新近纪达到生气高峰期;侏罗系烃源岩在中新世中晚期进入生油高峰期,新近纪末期达到生气高峰期^[6,10]。反映该区生烃高峰和主排烃期都为喜马拉雅期,喜马拉雅构造运动与该区主要生油期和生气期相匹配(图3)。在喜马拉雅早期以生油为主,喜马拉雅晚期进入生气高峰,造成该区的天然气晚期成藏。

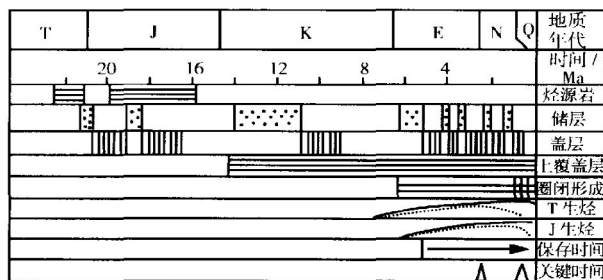


图3 库车前陆盆地油气成藏事件简图(据文献[10]改编)

Fig. 3 Diagram of hydrocarbon reservoiring events in Kuqa foreland basin (after reference 10)

喜马拉雅运动对油气生成的影响主要是通过控制沉积和埋藏速率影响烃源岩的转化。在喜马拉雅中晚期强烈的水平构造挤压作用下,天山山体快速抬升,位于天山山前的库车前陆盆地快速沉降,烃源岩被巨厚的上覆地层快速埋藏,地温增高,烃源岩开始大量生成油气。另外,逆冲推覆作用在断层附近产生大量摩擦热也对烃源岩成熟有

一定影响。

喜马拉雅运动形成了油气运移的通道(包括断层、裂缝和不整合面)和油气聚集的圈闭构造。库车前陆盆地以构造圈闭为主,它们从喜马拉雅早期开始发育,主要在喜马拉雅晚期形成和最终定格。受喜马拉雅期形成的逆冲断层控制,库车坳陷构造圈闭和油气藏具有带状分布的特点,主要分布在克拉苏-依奇克里克构造带、秋立塔克构造带以及喀拉玉尔滚走滑构造带。根据断层对油气成藏的影响,库车前陆盆地断层可分为充注断层、散逸断层和无效断裂3种类型。充注断层主要在喜马拉雅早期形成,它沟通了烃源岩和储层,是油气运移的主要通道;散逸断层切割了盖层,主要在喜马拉雅早期和中期形成,晚期重新活动,对油气藏起破坏作用;无效断裂主要在喜马拉雅晚期形成,向下收敛于上第三系膏泥岩滑脱层,因此它对油气运移基本不起任何作用^[11]。

喜马拉雅运动是库车前陆盆地油气成藏的主要驱动力。根据该区油气成藏期构造应力场数值模拟结果和已知油气藏的分布关系来看,该区已知油气藏主要分布在最大主应力值和最大剪切应力值、岩石应变能值、扩容量和破裂值都较大的区域*。在构造应力作用下,由于岩石应力积累,应变增加,使岩石的扩容量增大。当岩石中剪切应力超过岩石的抗剪切强度时,岩石中剪切破裂发育,一方面使该区沟通烃源岩的断层开启性变好,成为油气的主要运移通道,同时还使断层附近一些部位的岩石裂隙体积增大,成为油气聚集的有利场所。在构造应力等力源驱动作用下,油气沿断层作垂向运移,由于附近岩石扩容量和剪切破裂值较大部位的岩石孔隙流体压力和流体势能下降,油气聚集成藏。

3.3 喜马拉雅运动对油气藏的破坏作用

喜马拉雅运动对库车前陆盆地油气成藏既有建设性的一面,也有破坏性的一面^[6]。尤其是中更新世以来的新构造运动造成的断层重新活动以及喜马拉雅晚期以来由于强烈的构造挤压造成的剧烈抬升作用,严重影响了油气保存条件,是该区油气散失的主要原因。该区地面沿断层分布的大量油苗就是后期构造活动造成油气严重散失的结

果,反映喜马拉雅晚期以来构造运动对油气的明显破坏作用。该区既不缺乏油气源条件,也不缺少储集层以及油气运移通道与圈闭构造,膏泥岩层也很发育,因而影响油气藏保存条件的主要因素是喜马拉雅晚期以来的构造运动造成的破坏作用。库车前陆盆地油气勘探实践表明,该区大型气藏都伴随有异常高压分布,二者密切相关,异常高压的形成对保存条件要求很高,有异常高压分布的部位,说明其保存条件很好,因而使得油气得以保存并形成大型油气藏。

喜马拉雅晚期产生的断层还对早期形成的原生油气藏有调整作用,使油气沿断层再次运移,在上部断层附近的有利部位再次聚集成藏,形成次生油气藏,这是该区盐上构造油气成藏的一种重要模式。

参 考 文 献

- 1 地质矿产部《地质辞典》办公室.地质辞典(一),普通地质,构造地质分册(下册)[M].北京:地质出版社,1983.395
- 2 Molnar P, England P, Martinod J. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau and the Indian Monsoon[J]. Reviews of Geophysics, 1993, 31(4): 357~396
- 3 贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气[M].北京:石油工业出版社,1997
- 4 刘志宏,卢华复,贾承造,等.库车再生前陆逆冲带造山运动时间、断层滑移速率的厘定及其意义[J].石油勘探与开发, 2000, 27(1): 12~15
- 5 刘志宏,卢华复,贾承造,等.库车再生前陆盆地的构造与油气[J].石油与天然气地质, 2001, 22(4): 297~303
- 6 汪新文,陈发景,李光,等.塔北库车坳陷的变形特征及其与油气关系[J].石油与天然气地质, 1994, 15(1): 40~50
- 7 皮学军,谢会文,张存,等.库车前陆逆冲带异常高压成因机理及其对油气藏形成的作用[J].科学通报, 2002, 47(增刊): 84~90
- 8 夏新宇,宋岩,房德权.构造抬升对地层压力的影响及克拉2气田异常压力成因[J].天然气工业, 2001, 21(1): 30~34
- 9 宋岩,夏新宇,洪峰,等.前陆盆地异常压力特征与天然气成藏模式[J].科学通报, 2002, 47(增刊): 70~76
- 10 宋岩,贾承造,赵孟军,等.库车煤成烃前陆盆地冲断带大气田形成的控制因素[J].科学通报, 2002, 47(增刊): 64~69
- 11 贾承造,顾家裕,张光亚.库车坳陷大中型气田形成的地质条件[J].科学通报, 2002, 47(增刊): 49~55
- 12 曾联波,周天伟,吕修祥.喜马拉雅运动对库车坳陷油气成藏的影响[J].地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 741~744

* 贾承造,汤良杰.中国典型叠合盆地应力场分析与构造变形三维解析.国家重点基础研究发展规划项目课题中期工作进展报告(课题编号G1999043305), 2002