

塔里木盆地异常高压气藏的主要地质特征和成藏模式

吴根耀¹, 朱德丰², 梁江平², 杨建国², 赵岩¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 在全面论述塔里木盆地异常高压气藏分布的基础上, 重点剖析了南天山和西昆仑山的山前坳陷的区域演化、异常高压成因、储气构造形成和成藏期, 进而提出其成藏模式, 探讨异常高压气藏形成的关键和勘探靶区。库车坳陷除依南2气藏为自源型外, 其它5个气藏均属晚期充注型; 主成藏期是中新世晚期—上新世早期, 背斜发育受一组后展式扩展的逆冲断层控制, 更新世以来天然气向原储气构造内充注, 异常高压是自源型高压和传导型高压的叠加。叶城凹陷柯克亚背斜深部的古近系在中新世成藏, 上新世—早更新世随地层褶皱发生调整, 属晚期调整的气藏; 浅部的中新统气藏则是晚期充注型, 除气源岩供气外还有深部的古近系气藏为之供气, 应属晚期次生成藏。

关键词: 异常高压气藏; 异常高压成因; 异常高压分布; 成藏机制; 成藏期; 山前坳陷; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Main geological features and accumulation models of abnormally high-pressured gas reservoirs in Tarim Basin

Wu Genyao¹, Zhu Defeng², Liang Jiangping², Yang Jianguo², Zhao Yan¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: The abnormally high-pressured gas reservoirs were well developed in the Tarim Basin. It was discussed in this paper the abnormally high pressures in foreland depressions, including regional evolution, contributing factors, formation of gas-bearing structures, accumulation mechanisms and periods, and then presenting accumulation models for the Kuqa Depression and the Yecheng Sag respectively. The keys for abnormally high-pressured gas reservoirs and the exploration targets were studied. There were 6 abnormally high-pressured gas reservoirs in Kuqa area, 5 of which were late-charged while only the Yinan2 gas reservoir was self-sourced. The main accumulation period was from the Late Miocene to the Early Pliocene. Anticlines were controlled by a group of overstep reverse faults. Natural gas charged into gas-bearing structures directionally due to the structural compression since Pleistocene. Self-sourced high pressure and transitional high pressure together formed abnormally high pressure. The deep Paleogene gas reservoir in the Kekeya anticline of Yecheng Sag, namely, the Kalata'er gas reservoir, accumulated in Miocene and adjusted with stratigraphic folding in Pliocene–Early Pleistocene, which was an abnormally high-pressured gas reservoir of late-adjustment type. The shallow Miocene gas reservoir in the Kekeya anticline was late-charged, with both the source beds (the Carboniferous–Permian and Jurassic) and the deep Paleogene gas reservoir supporting gases, which should be a later secondary-generated accumulation.

Key words: abnormally high-pressured gas reservoir; contributing factor of abnormally high pressure; distribution of abnormally high pressure; accumulation mechanism; accumulation period; foreland depression; Tarim Basin

1 塔里木盆地异常高压封存箱概述

本文采用的异常高压的标准是: 压力系数 0.9 ~

1.2 为常压地层 (油气藏), 压力系数大于 1.2 为异

常高压地层 (油气藏), 压力系数大于 1.8 时也称超高压地层 (油气藏)^[1]。

塔里木盆地的异常高压气藏不但数量多, 分布广, 而且储量巨大, 主要见于北缘的库车坳陷 (南

天山新生代崛起时的山前拗陷)及南缘的叶城凹陷(西昆仑山新生代崛起时的山前拗陷),是本文的讨论重点。与叶城凹陷同属西南拗陷的喀什凹陷则是受南(西昆仑山)、北(南天山)两侧的新生代前陆褶皱冲断带共同控制发育的前陆盆地,也有异常高压发育。克拉通内部已发现吉拉克凝析气藏为异常高压(压力系数1.37);塔中6凝析气藏的压力系数为1.2。

吉拉克凝析气田位于塔北隆起的轮南低凸起南部,紧邻解放渠东油气田。后者在三叠系中已发现4个油藏:TI₁油藏、TI₂油藏、TII主力油藏和TIII底水块状油藏,但在吉拉克背斜上只发育TII油组一个底水不规则油环凝析气藏^[2]。下伏石炭系III油组(东河砂岩)中见一个受岩性—构造控制的边水异常高压凝析气藏即吉拉克气藏,其盖层(石炭系下泥岩段的泥岩)和下伏层(志留系泥岩—泥质粉砂岩)的封堵性都较好。成藏期是库车组(N₂k)沉积的中—晚期,此时烃源岩(奥陶系)埋深约5 000~6 000 m,处于异常高压状态^[2]。即:由于石炭系下泥岩段封堵层的分隔,东河砂岩及下伏地层与三叠系分属不同的压力系统,后者为常压。因油气向上运移造成泄压,现塔里木所有钻井都未在奥陶系中发现异常高压,轮南地区200余口钻井的奥陶系的压力系数平均值为1.108,有4口井的压力系数小于1.0^[3]。

塔中6凝析气田位于塔中低隆中央断垒带东端的塔中6构造上,为构造—地层复合圈闭。目的层为石炭系东河砂岩,超覆在奥陶系碳酸盐岩潜山之上,异常高压的成因应与吉拉克气藏相似(以石炭系下泥岩段中的泥岩为封堵层),因泄压,现已为常压气藏。

根据上述,可在塔里木盆地内识别出4个异常高压封存箱^[4](图1)。从形成时间上可分成2类。

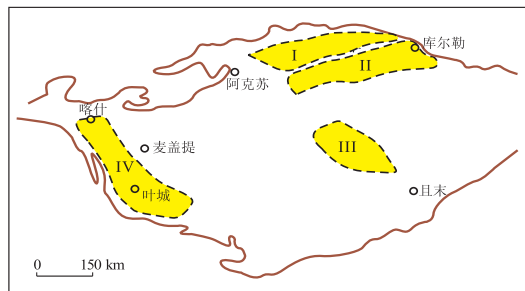


图1 塔里木盆地的4个异常高压封存箱

I. 库车拗陷封存箱; II. 塔北隆起封存箱;
III. 塔中低隆封存箱; IV. 塔西南拗陷封存箱

Fig. 1 Four abnormally high-pressured compartments in Tarim Basin

库车拗陷和塔西南拗陷现今仍处于挤压应力场中且油气充注仍在进行(详见下述),属正在形成发育的异常高压;塔北隆起和塔中低隆则是地史期间发育的异常高压。

2 库车拗陷

2.1 区域演化概述

库车拗陷位于塔里木盆地北缘、南天山山前地区,属南天山新生代陆内造山带(前陆褶皱冲断带)的东段,与南天山造山带的演化密切相关。南天山洋的洋壳在新元古代已经出现,经多期消减后在二叠纪末—三叠纪初闭合^[5],塔里木板块与伊犁地块(因中天山岛弧的镶边其面积已明显扩大)碰撞。库车地区三叠纪成为磨拉石盆地;塔北隆起区构成库车前陆盆地的前隆,并随盆地的扩展而向南退缩(故北部有三叠系沉积)。侏罗纪时,中国西北和中亚地区为同一个陆相大盆地^[6]。库车地区侏罗系发育完好,塔北隆起除轮台等少数地区外也有侏罗系沉积。早白垩世库车地区与塔北隆起、北部拗陷及塔中低隆同属一个沉积盆地^[5];晚白垩世隆起,大盆地解体。古近纪库车地区重又接受沉积,称库姆格列木群(E₁₋₂km)。

现今库车拗陷与南天山的盆—山构造格局是古近纪晚期即苏维依组(E_{2-3s})沉积时开始出现的。两次强烈的冲断分别发生在中新世和早更新世,前陆磨拉石盆地迅速向南扩大;库车组(N₂k)沉积期是构造相对平静的拗陷发育期^[7-8]。野外常见早更新世西域组遭受改造(构成向斜核部,因冲断而重复出露等),反映挤压活动持续到中—晚更新世乃至全新世^[8]。现存的构造面貌是:库车拗陷西以近北西向的喀拉玉尔袞断裂(右行走滑变换带)为界,东延止于库尔勒鼻状凸起,呈向东收敛的三角形。据变形特征自北向南可分为:基底冲断带(北部单斜带)、箱状背斜褶皱冲断带、梳状背斜褶皱冲断带(石油地质称克拉苏—依奇克里克构造带和秋里塔格构造带)和挠曲褶皱带^[7](构造单元和油气藏分布可参阅文献^[9]的图2)。

2.2 异常高压分布和层位

周兴熙最早对库车拗陷的异常高压分布作了系统研究,平面上据地层压力分为3个带(北部的III带为异常高压带),并总结了克拉苏、牙哈和大宛齐3种成藏模式^[10]。

库车及南邻地区平面上可分为3个成藏系统:北部(基底冲断带)和南部为常压成藏系统,而中部的冲断带为常压—异常高压成藏系统。已发现

的6个异常高压气藏(克拉2、克拉3、大北1、迪那2、依南2和吐孜1,位置见文献[9]的图2,相关的地震剖面见文献[11]的图3),除迪那2外均位于克拉苏—依奇克里克构造带内。迪那2气藏的构造位置是依奇克里克构造带与东秋里塔格构造带之间的向斜,常称迪那构造带,实际上是隐伏的东秋(里塔格)背斜的北翼^[8]。即:异常高压见于克(拉苏)—依(奇克里克)构造带和秋里塔格构造带,异常高压发育区的南界与冲断带的南界基本一致(最西部在冲断带的南界以南^[9])。

库车坳陷中部冲断带常压—异常高压成藏系统,浅部是常压,深部是异常高压;异常高压地层位于膏盐层之下(膏盐层是异常高压得以封存的封堵层)。库车坳陷的膏盐层主要见于2个层位:古近系库姆格列木群($E_{1-2}km$)的下部和中新统吉迪克组中—上部。库姆格列木群膏盐层主要分布在坳陷西部,尤在拜城以西发育较好;最厚的地区,一是大宛齐以西的大宛齐盐构造,呈一东西向展布的短轴背斜,膏盐层最大厚度可逾4 000 m;二是西秋里塔格构造带,膏盐层最大厚度可逾1 500 m,呈北东东走向的线形背斜。吉迪克组的膏盐层主要分布在库车坳陷东部,其最厚处(大于1 500 m)在库车以北,向北东东可延至依奇克里克^[7,12]。

对库车坳陷的盐下地层,据地层压力和运移方式可区分出3种情况。

(1)三叠—侏罗系烃源岩厚度大,有机质丰度高,热演化程度也较高,在三叠—侏罗系的合适圈闭内主要形成气藏(也有少量油藏),在其上有膏盐层作为封堵层的情况下即成为异常高压气藏,如坳陷东部的依南2气藏。其最大特点是自源的,即:烃源岩与储集层都是三叠—侏罗系且都是异常高压地层。

(2)源自三叠—侏罗系烃源岩的油气经盐下断裂运移到上覆储层内的合适圈闭中成藏,故它是近源的,在其上有膏盐层封堵时即成为异常高压气藏。在库车坳陷西部,封堵层是库姆格列木群膏盐岩段,储层是白垩系、库姆格列木群底砂岩段及膏盐层内的砂岩或白云岩夹层,已发现3个异常高压气藏:克拉2(储层为白垩—古近系)、克拉3(储层为古近系)和大北1(储层为白垩系)。库车坳陷东部,封堵层是中新统吉迪克组膏泥岩,储层主要是古近系(苏维依组和库姆格列木群),还有膏泥岩层之下的吉迪克组,已发现2个异常高压气藏:迪那2和吐孜1。迪那2气藏分2个井区:迪那2井区的气层主要分布在苏维依组第一、二、三岩性段

及库姆格列木群第二岩性段,迪那1井区气层仅见于苏维依组第一岩性段。

(3)在膏盐层不发育或发育甚差不能起封堵层作用的情况下,三叠—侏罗系烃源岩中的油气可在合适的圈闭中形成常压的油气藏,如库车坳陷东部侏罗系中的依奇克里克油田。它与依南2气藏的共同点在于都是自源的,不同的是异常高压未能封存至今(因没有封堵层而释放了)。库车坳陷西部的大宛齐油田也是一个常压油田,但属盐上的(浅部)成藏系统,由新近系中的砂岩层和泥岩层构成储层和盖层(烃源岩仍为三叠—侏罗系,属近源的油藏)。

2.3 异常高压成因探讨

2.3.1 构造挤压

这是为众多塔里木研究者普遍接受的异常高压成因之一。如认为构造挤压对异常高压的贡献达63%~73%^[13],克拉2气藏的异常高压地层中约50 MPa的压力由构造应力引起^[14];晚喜马拉雅期强烈的构造挤压是异常高压形成的主要原因^[15];等等。

库车坳陷深部的异常高压具以下2个特点。一是只要有区域性的膏盐层(封堵层)发育,其下就有异常高压发育。如:克拉1井的白垩—古近系中并无气藏发现,压力系数为1.70,压力梯度达18.7 kPa/m;依南2井三叠系和石炭系中也无气藏发现,压力系数为1.78;吐格尔明地区吐深1井的上三叠统和文3井的下侏罗统,压力系数分别为1.25和1.30。二是随构造挤压应力向南逐渐减弱,异常高压的发育有北强南弱之势。在靠近南天山的克(拉苏)—依(奇克里克)构造带异常压力值最高,压力系数大于2.0,向南至挠曲褶皱带中—东部和塔北隆起为正常压力值。相应地,异常高压出现的深度自北向南变大:在克—依构造带,3 000 m深即见异常高压;其南的羊塔克构造带和喀拉玉尔袞构造带因叠加有喀拉玉尔袞断裂斜冲走滑的挤压作用,也有异常高压发育,深度大于4 500 m,压力系数1.5左右^[2]。

强烈的构造挤压应力使岩石破碎,裂缝特别发育,从而改善了岩石的储集性能。如克—依构造带尤其是其东部的依南—迪那地区,岩性和薄片观察都表明该地的阿合组(J_{1a})和阳霞组(J_{1y})几乎无原生孔隙保留,但裂缝十分发育,故仍能成为有效储层。此外,挤压应力使盐下地层内发育大量的逆冲断层,因其向上不切穿膏盐层而成为有效的油气运移通道,为异常高压产生的另一个原因即天然气充注提供了条件。

2.3.2 天然气充注

库车坳陷盐下地层中的醒目现象是:常压地层内只发育油藏(如依奇克里克油田),异常高压地层内则为气藏。气藏的明显特点是:有天然气储集的储层其异常高压值大于没有天然气聚集的相应地层,大气田的异常压力值比中小型气田的异常压力值高。克拉2和迪那2是最大的2个气田,压力系数最高(1.95~2.20),已属超高压气藏;依南2气藏的压力系数也高达1.84~1.85。这除了与气藏的圈闭条件良好、压力泄漏较小有关外,还与天然气的充注有关。在同一个异常高压气藏中,气层的压力系数高于非气层(如克拉2气藏和依南2气藏),气藏顶部的压力值高于下部的压力值(即气藏中压力系数自下而上逐渐增大,气藏顶部压力系数最高,如克拉2气藏,图2)。这为异常高压的天然气充注成因提供了直接证据。

库车坳陷异常高压形成的原因,除构造挤压外还有天然气充注,即:储层(白垩系和盐下新生界)中的异常高压是自源型高压和传导型高压(尽管是近源的)两者的叠合。在构造挤压越强烈的地区,断裂和裂缝越发育,充气强度越大,异常高压值相应地也越高。这一论断还可得到以下2个证据的进一步证实。一是这些异常高压气藏其实并不是绝对封闭的(如克拉2气田北缘发育切穿膏盐层的断层,天然气沿断层泄漏至浅部地层内^[10]),只是因为充注的天然气量大于或等于泄漏散失的天然气量,这些气

藏才具开发价值且仍能保持异常高压的状态。二是最近在秋里塔格构造带发现的却勒1常压油藏,位于上述的库车中部的冲断带常压—异常高压成藏系统中,且位于库姆格列木群膏盐层之下,应该发育异常高压,但其压力系数仅1.14。究其原因,首先是该区远离南天山,挤压应力相对较弱,盐下层中断层发育较差,由之引起的第二个原因是没有大量天然气的充注,故未能形成异常高压的气藏。

2.3.3 沉积物的欠压实

对这一成因尚有不同认识。部分人^[13,17-19]认为库车坳陷异常高压的产生与沉积物的欠压实并无明显联系。(1)克拉2气田白垩—古近系储层的成岩演化目前已达晚成岩阶段A期,说明异常高压即使是由沉积物的早期欠压实形成的,这样的异常高压也早已消失,现今并不存在欠压实。(2)异常高压地层的储层物性普遍较差,表征储层既经历了较充分的压实作用,又在成岩阶段内部流体的流动比较活跃,流体可以自由进出,说明不存在异常高压。(3)砂体的宏观展布上具有砂岩层厚度大、分布广和延伸远的特点,自身的连通性甚好,很难被封隔起来产生欠压实作用。(4)欠压实产生异常高压多见于快速沉降、快速堆积的环境,沉积速率在50 m/Ma以上。克—依构造带的异常高压地层在三叠纪、侏罗纪、白垩纪和古近纪的沉积速率仅10~40 m/Ma。(5)晚喜马拉雅期强烈的构造运动必将对早期形成的沉积成岩型异常高压产生强烈的改造和破坏作用。如果早期因欠压实形成的异常高压能被保存下来且在后期的构造挤压作用中得以增强,则原来的压力系统越高越不利于油气的注入和成藏。但事实恰恰相反,压力系数最高的克拉2气田是该区迄今发现的储量最大的气田。

王震亮等^[20]则提出了截然不同的见解,认为克拉2气田的深部地层存在欠压实造成的异常高压。(1)深埋的巴什基奇克组(K_1bs)砂岩中存在大量的剩余原生粒间孔,证实有欠压实作用存在。(2)克拉201井全井段的深侧向电阻率和声波时差曲线均证实200 m深度以下的泥岩处于欠压实状态,其中以库姆格列木群欠压实的幅度最大,苏维依组和巴什基奇克组欠压实的幅度次之(文献^[20]的图5)。欠压实带与异常高压发育的层位相对应,说明欠压实作用在异常高压的形成中起着重要作用。(3)通过对气田内泥岩过剩压力的计算并与相邻砂岩进行对比(文献^[20]的图6),发现克拉2井由欠压实作用引起的泥岩过剩压力一般为5~8 MPa,占相邻砂岩过剩压力的15%~26%;克拉

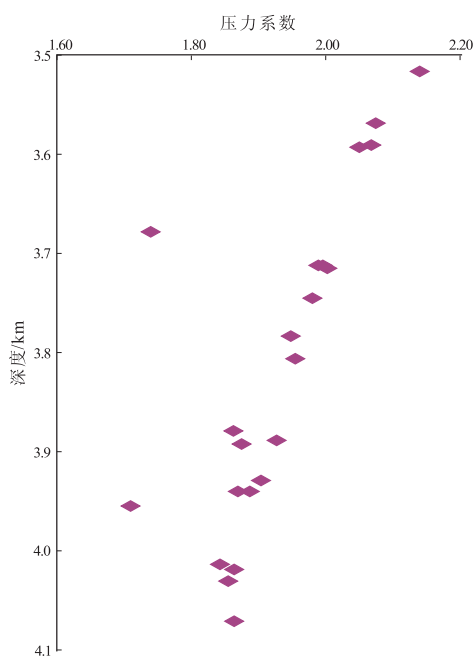


图2 库车坳陷克拉2气田压力系数与深度关系^[16]

Fig.2 Pressure coefficient vs. burial depth in Kela2 gas field, Kuqa Depression

201 井由欠压实作用引起的泥岩过剩压力既有 12 ~ 19 MPa 的较高异常高压,也有 4 ~ 10 MPa 的较低异常高压,它们分别占相邻砂岩过剩压力的 40% ~ 55% 和 15% ~ 30%^[20]。张立宽等^[21]通过流体包裹体测试求取其形成时的古压力,表明白垩—古近系储层沉积型的异常高压发育在库车组沉积期达到高峰,之后因隆起剥蚀发生泄压,更新世起因构造挤压型异常高压的发育而储层的压力值再次升高(文献[20]的图4)。

本文认为康村组($N_{1-2}k$)沉积期储层已被深埋,因挤压和欠压实作用而出现异常高压,库车组沉积期末(最大埋深期)异常高压出现峰值,形成封闭体系,天然气的快速充注有利于原生孔隙保存。早更新世因冲断挤压,原盆地北部地区隆起剥蚀(剥蚀量可逾 2 000 m^[21]),异常高压部分地得到释放;之后的挤压作用和天然气充注使曾经泄压的储层压力再次升高。

2.3.4 关于构造抬升

南天山山前地区冲断层和背斜均十分发育,尤其是早更新世以来的冲断和褶皱,使库车坳陷内的地层在遭受改造的同时也发生了抬升,因而曾认为构造抬升是库车坳陷异常高压发育的一个原因^[17,22]。有人则认为构造抬升倾向于产生异常低压而不是出现异常高压^[23-24]。

库车地区更新世的构造挤压、冲断褶皱与天然气充注同步发生,这一动态演化过程延续至全新世,现测到的异常高压不是被封存下来的古压力。赵靖舟等^[16]的包裹体测温资料表明:克—依构造带的白垩系和侏罗系储气层都经历过较高的古地温阶段,因库车组沉积后的构造抬升发生了较大幅度的降温,其中,克拉 2 气层的降温幅度约为 70 ℃,依南 2 气层降温约 30 ℃。大幅度的降温使孔隙中流体的体积缩小,孔隙体积相应增大;抬升导致的剥蚀使负载降低,孔隙体积发生反弹,故构造抬升和降温必然伴随降压,不是压力升高。

2.4 成藏模式与成藏期

位于克(拉苏)—依(奇克里克)构造带内的 5 个异常高压气藏,除依南 2 为自源型气藏(源岩层和储集层都为三叠—侏罗系)外,其它 4 个气藏有相似的成藏特点,前人研究常以克拉 2 气藏为例加以剖析^[25]。本文从动态演化的角度出发,重点讨论运移通道和储气构造的形成、2 期变形的主要特征和后期变形对前期变形的可能改造,进而总结克拉 2 气藏的成藏模式。

苏维依组已属磨拉石建造,但分布较为局限。

吉迪克组(N_1j)沉积时冲断活动第一次达到高潮,磨拉石盆地迅速向南扩展到秋里塔格地区,但因早更新世秋里塔格山脉的形成,原磨拉石盆地(常称拜城凹陷)的面积已大大缩小(图 3a)。康村组沉积仍为磨拉石建造,需强调以下 3 点认识:(1)康村组沉积期沉积物已得到深埋,兼之处于挤压的构造应力场中,深部地层有异常高压发育。(2)可能在吉迪克组沉积期末盆地的沉积地层已发生向南的冲断。康村组沉积时,因南天山冲起的强度和速度明显减小,其产生的向南的推挤应力已明显变弱;相应地,塔北隆起作为一个前隆对冲断的阻挡作用增强,因而康村组沉积期盆内沉积物发生的冲断,很可能是向北扩展的,新的逆冲断层(F_2)位于老的逆冲断层(F_1)以北,构成后展式(或称上叠式)扩展的逆冲断裂系^[8]。(3)冲断层的发育使原水平的盆内沉积发生向南的倾斜,且这些冲断层向上延伸都未能切穿古近系库姆格列木群膏盐层(图 3b,c)。

后展式逆冲断层的进一步发育,一是在其上盘出现次级的背冲断裂,二是断裂切穿库姆格列木群而通达当时的地表,成为康村组沉积的生长断层(在康村组沉积晚期停止活动,故未切穿康村组)。穿层断裂和背冲断裂控制了穿层断裂的下盘出现一个背斜(圈闭油气的空间),夹持在逆冲断层之间的地层也可能因牵引作用而发育背斜(图 3d)。

图 3 所示的库车冲断带早期挤压变形的模式具普遍性,只是组成后展式逆冲断裂系的断层发育的条数随地而异,也可能未见背冲断裂出现。该组逆冲断层控制的背斜或断背斜成为油气的储集空间;断裂则沟通了烃源岩与储集层,来自三叠—侏罗系的天然气可通过断裂运移到储层的背斜构造中圈闭成藏,因而中新世晚期—上新世早期(康村组沉积期)是库车坳陷的主要成藏期。库车组沉积期是构造的平静期,尽管没有新的冲断层形成,原康村组沉积期形成的冲断层也不活动,但只要这些断层不封闭,天然气的运移和成藏过程仍可进行。

早更新世开始的强烈冲断活动(以西域组砾岩为磨拉石)使前陆褶皱冲断带再次向南扩展,它对已形成的气藏造成 2 方面的效果。一方面,隆升剥蚀和降温导致地层的压力值降低,原储油(气)构造可能遭到该期冲断破坏。西段的克拉苏构造带由于膏盐层厚度大,盐上地层内更新世的冲断层尽管已切入膏盐层,但并未与盐下断裂沟通,膏盐层仍是有效的油气盖层和异常高压封堵层。东段的依奇克里克构造带膏盐层厚度小且层位高,盐上

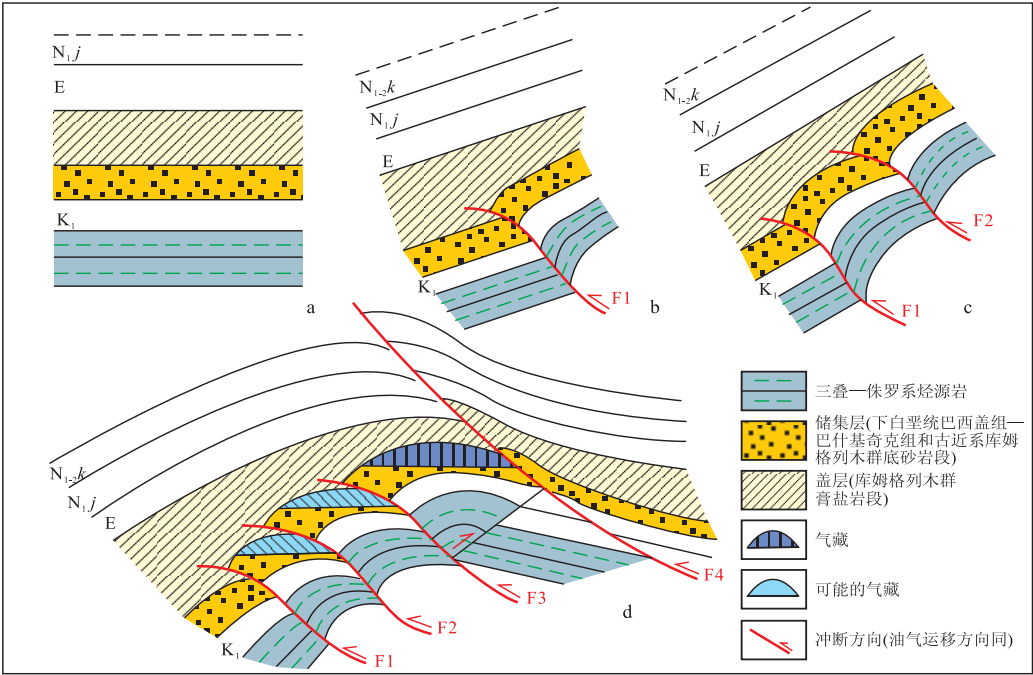


图3 库车坳陷康村组沉积期断裂发育与克拉2气藏成藏模式

图中的 K₁ 仅指下白垩统亚格列木组和舒善河组,E 仅指库姆格列木群膏盐岩之上的砂泥岩,其它地层代号见正文

Fig. 3 Late Miocene–Early Pliocene fault development and accumulation model for Kela 2 gas reservoir in Kuqa Depression

地层与盐下地层中的断层有可能沟通(或盐下地层中的断层可通达地表,参阅杨海军等^[11]的图3),使异常高压发生释放(泄压)。换言之,早期变形形成的气藏免遭晚期变形破坏而得以保存的情况,东段逊于西段。另一方面,强烈的挤压作用可能使原已形成的背斜进一步发育,褶皱的幅度增高,从而使储集空间变大;该期冲断活动还使康村组沉积期形成的断层重新活动,一度封闭过的冲断层可能重又开放,成为天然气向上运移的通道,这将使原异常高压气藏的压力值进一步升高。克拉2气藏中第二方面的作用显然强于第一方面的作用;早更新世开始的构造挤压和天然气充注造成异常高压的作用持续至今,使之成为超高压气藏。

迪那2气藏尽管构造位置和储集层位不同于克拉2气藏,但地震剖面^[11]揭示:控制储气构造(背斜)发育的冲断层向上延伸时,或收敛于吉迪克组中的膏盐层,或切入康村组但未能切穿康村组,说明它们形成于康村组沉积期,且其构造样式与区域上该期变形(图3)的面貌十分一致,说明克拉2气藏的成藏模式适用于迪那2气藏。略有不同的是:控制迪那2气藏的南、北两侧的逆断层(南称东秋里塔格断裂,北称迪北断裂,两者均向北倾,伴有向南陡倾的背冲断层)的倾角较小(图4),主控断层(东秋里塔格断裂)向上延伸成为一条近水平的、大致沿 T₅ 界面(康村组底面)发育的

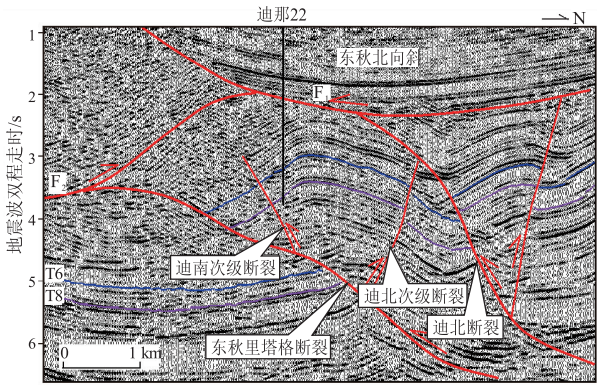


图4 迪那2气田过迪那22井的南北向地震叠加偏移剖面

608线,转引自吴根耀等^[8]。

T6. 吉迪克组(N_{1j})底面;T8. 库姆格列木群(E₁₋₂km)底面

Fig. 4 No. 608 seismic profile crossing well Dina22, Dina 2 gas field

层间滑动断层(图4中的F₂)。由于F₂的作用,浅部地层(康村组及上覆库车组)已发生了向南的推移,故该气藏位于的迪那构造带实为隐伏的东秋(里塔格)背斜的北翼^[8]。

3 叶城凹陷

塔里木盆地的西南坳陷也是一个新生代的陆内前陆盆地,主要包括2个凹陷:喀什凹陷和叶城凹陷;后者的发育与西昆仑洋盆的演化和西昆仑山新生代的崛起密切相关。

3.1 区域演化概述

西昆仑洋盆在新元古代即已形成。(440.5±4.6) Ma 和(447±7) Ma 的锆石 U-Pb 年龄^[26]表明,洋壳在奥陶纪末开始消减并延续到志留纪,形成库地—苏巴什蛇绿岩带;二叠纪开始洋壳再次消减,形成麻扎—康西瓦蛇绿岩带,230~244 Ma 的闪长岩脉和花岗岩脉^[27]表明,洋盆在中三叠世最后闭合。洋壳向北消减,洋盆和与消减有关的岛弧带则向南后退^[28],故该地发育弧后前陆盆地(不同于库车地区三叠纪的大陆周缘前陆盆地)。侏罗系为磨拉石建造。早白垩世,由于印度河—雅鲁藏布洋发生大规模消减^[29],导致西昆仑山崛起并在山前形成冲积扇—扇三角洲相沉积^[30],它们在西昆仑山前呈裙带状分布。此时铁克里克推覆体向北逆冲,控制了叶城—和田一线的前陆冲断带和磨拉石盆地发育^[31],沉积了克孜勒苏群。

塔西南地区的上白垩统为海相,称英吉沙群,呈一北西走向的袋状海湾。海侵来自其西的新特提斯海域,因而总体上呈西深东浅之势^[32]。古近纪仍有海相地层发育。阿尔塔什组(E_1a)为潟湖相的膏盐岩、红色膏泥岩和白云质灰岩,齐姆根组($E_{1-2}g$)为膏泥岩。这套膏泥岩时代上与库车坳陷的库姆格列木群大致相当,两者的不同之处,除塔西南地区的是浅海相沉积外,还在于它不是异常高压的封堵层。阿尔塔什组膏盐(泥)层主要起了2方面的作用:与下伏的下白垩统克孜勒苏群构成储盖组合,在新近纪的冲断活动中成为层间滑脱面。卡拉塔尔组(E_2k)是以牡蛎灰岩为主的碳酸盐岩,与上覆泥岩构成另一套储盖组合。更上的古近纪沉积称乌拉根组(E_2w)和巴什布拉克组(E_3b),后者是一套区域上稳定分布的厚大泥岩层。除铁克里克北缘断裂渐新世活动外,古近纪尚未形成帕米尔—西昆仑山前褶皱冲断带。

新近系发育甚好,自下而上称乌恰群(N_1wq)或西河甫组(N_1x)、阿图什组(N_2a)、(上新统上部—)下更新统西域组、中更新统乌苏群、上更新统新疆群和全新统。乌恰群为细粒砂岩和泥岩,物源区较远,当时昆仑山地势起伏不大;阿图什组见砾岩,表明昆仑山开始规模隆升并在西域组沉积期进一步加强^[33]。冲断作用始自上新世早期,自南(西)向北(东)前展式地扩展,控制3排背斜带发育(可参阅文献^[34]的图1)。其发育规律是:自山前向着麦盖提斜坡方向,形成的时间变新,褶皱的强度变弱,即:属山前第Ⅰ排背斜带的甫沙背斜形成于上新世早期,属第Ⅱ排背斜带的柯克亚背斜

形成于上新世晚期,属第Ⅲ排背斜带的固满背斜形成于早更新世^[34]。在乌帕尔断层的背负盆地中发育2个重要的不整合面:西域组与下伏中—上新统之间;全新统与下伏地层之间^[35]。更新统见生长地层^[36],说明帕米尔—西昆仑山前褶皱冲断带更新世内一直在活动,至更新世它才向北扩展至喀什地区形成喀什背斜。

3.2 分段及与库车地区的对比

将帕米尔—西昆仑新生代山前褶皱冲断带与南天山新生代山前褶皱冲断带作一比较研究有利于更深入认识前者的运动学特征及与之耦合发育的前陆盆地面貌。南天山的山前褶皱冲断带呈向北凸出的弧形,自西向东可分为4段:喀什段、柯坪段、乌什段和库车段^[7,11]。帕米尔—西昆仑的山前褶皱冲断带呈北西西向—北北西向—北西西向的反S形,自西向东也可分为4段:乌帕尔段、苏盖特—齐姆根段、柯克亚段和和田段(图5)。其中,乌帕尔段与南天山山前褶皱冲断带的喀什段共同控制了喀什凹陷的发育;其他3段各有自己的特点。

苏盖特—齐姆根段呈北北西走向,是挤压—走滑段,发生的是兼有右行走滑的斜冲,可理解为是帕米尔—西昆仑山前的2个北西西向的冲断层带(即乌帕尔段与柯克亚段)之间的构造变换带。相应地,齐姆根地区的褶皱冲断带宽度较窄,山前只发育2排背斜带,分别形成于上新世中—晚期和更新世^[34]。苏盖特地区发育3排背斜带,背斜的走向变化较大。

柯克亚段的特征是发育向北倾的柯克亚—桑株反冲断层(图5),东起桑株北,呈北西西向延至柯克亚后折向北西,长约170 km。西昆仑山前深部的石炭—二叠系沿古近系底部膏盐(泥)岩向北主动楔入时,由于上覆新生界向北滑动的速率相对较小,因而沿中新统与古近系之间的层间滑脱面发生被动反冲(向南冲),并冲出地表构成三角带构造的顶板断裂。

和田段的南界铁克里克北缘断裂是一条活动性较强的断裂,它在晚加里东期—早海西期形成,燕山期(侏罗—白垩纪)发生过强烈冲断,因而在渐新世即已开始活动^[37],反映了帕米尔—西昆仑新生代山前褶皱冲断带发育时间随地而异。铁克里克北缘断裂的逆冲活动在上新世末达到高峰,并可延续到早更新世。和田断裂可看作它的分支断裂,因它倾角缓且向下延伸收敛于古近系底部的膏盐(泥)岩层,故控制了和田逆冲推覆体发育。从中可发现:帕米尔—西昆仑山前褶皱冲断带相对南

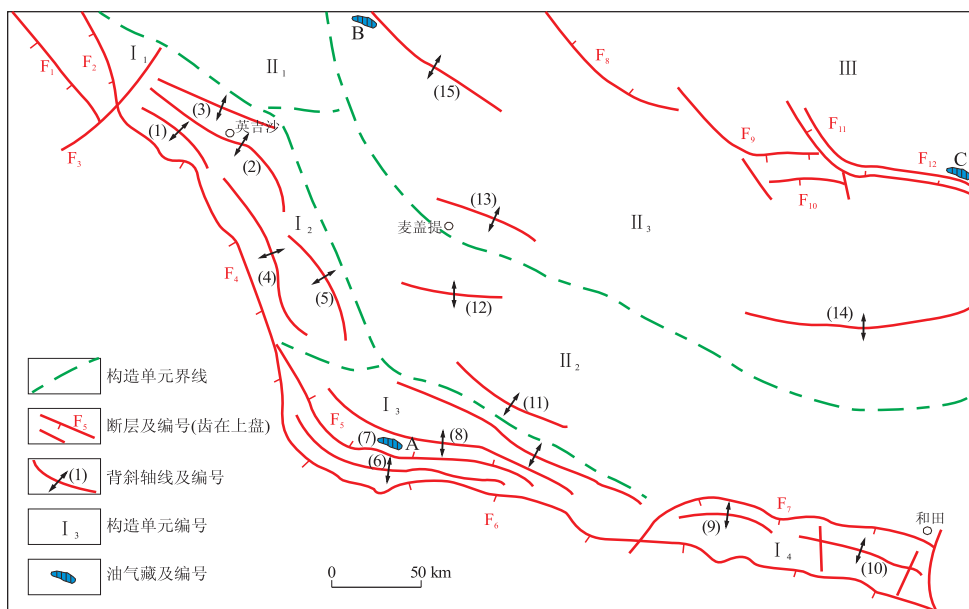


图5 帕米尔—西昆仑新生代山前褶皱冲断带的分段和主要断裂

构造单元名称: I. 帕米尔—西昆仑山前褶皱冲断带; I₁. 乌帕尔段; I₂. 苏盖特—齐姆根段; I₃. 柯克亚段; I₄. 和田段(推覆构造); II. 塔西南坳陷: II₁. 喀什凹陷; II₂. 叶城凹陷; II₃. 麦盖提斜坡; III. 巴楚断隆;
断裂名称: F₁. 帕米尔北缘; F₂. 乌帕尔; F₃. 库尔干; F₄. 库斯拉甫; F₅. 柯克亚—桑株; F₆. 铁克里克北缘;
F₇. 和田; F₈—F₁₂ 为巴楚断隆南界^[38]; F₈. 康塔库木; F₉. 海米—罗斯塔格; F₁₀. 乌山; F₁₁. 古董山; F₁₂. 玛扎塔格;
背斜构造名称: (1) 苏盖特; (2) 英吉沙; (3) 阿克陶; (4) 齐姆根; (5) 棋北; (6) 甫沙; (7) 柯克亚; (8) 固满—合什塔格;
(9) 皮亚曼; (10) 和田南; (11) 固满北; (12) 捷得—帕星; (13) 布瓦什; (14) 玛(扎塔格)南; (15) 群苦恰克;
油气藏名称: A. 柯克亚; B. 巴什托普; C. 和田河

Fig. 5 Segmentation and main faults of Pamir–West Kunlun foreland fold-and-thrust belt

天山而言的一个特点是逆冲断层的倾角普遍较小。

叶城地区除逆冲断层的倾角较小、形成推覆构造外,与库车地区相比还有其它的不同。

(1) 为调节不同区段的挤压变形量,冲断带常伴有与之正(斜)交的走滑断裂发育,称构造变换带。南天山的构造变换带近北西向^[7],以喀拉玉尔衮断裂为代表;在帕米尔—西昆仑前陆褶皱冲断带,构造变换带近北东向,如作为乌帕尔段与苏盖特—齐姆根段的分界断裂的库尔干断裂,此外还有依格孜牙断裂、吐孜拉普河断裂、桑株河西断裂和阿其克断裂。这可能与塔南地块的基底构造为北东向有关^[39],在新生代强烈的构造事件中基底构造活化且发展壮大,构成苏盖特—齐姆根段的右行走滑—斜冲断裂(库斯拉甫断裂)的共轭剪切带。

(2) 塔西南地区古近系底部的阿尔塔什组膏盐(泥)层一般厚逾 60 m (最厚可达 200 m),尽管厚度逊于库车地区的膏盐层,仍是重要的层间滑脱面。中—下寒武统的膏盐岩分布广且厚度巨大,成为区域上的另一层间滑脱面。该区古生界—中生界的变形被限制在这 2 层膏盐层之间,断裂向下延伸和向上延伸均收敛于层间滑脱面,故双冲构造及三角带构造十分常见。

(3) 塔西南地区渐新世开始、新近纪内发生的

逆冲活动是一个连续的递进变形过程,不像库车地区那样可明显地分为 2 期;逆冲活动主要发生在新世—早更新世(上新世晚期为逆冲高峰期),时代上较库车坳陷的主冲断期(中新世—上新世早期,也即主成藏期)年轻。相应地,作为储气构造的背斜形成于上新世晚期和早更新世,也较库车坳陷的年轻。

3.3 异常高压分布和层位

钻探已揭示西昆仑山前的第 I 排背斜带(甫沙构造带,苏盖特构造带)从上至下的地层均为正常压力,这与库车坳陷相似,即山前地区因断裂密集且切割深度大,异常高压不易得到保存。钻井已在第 II 排背斜带的柯克亚背斜和英吉沙背斜发现其深层存在异常高压;第 III 排背斜带因相对宽缓,地层的埋藏和保存情况好于第 II 排背斜带,也应有异常高压发育。

柯克亚背斜上已发现柯克亚凝析油气田,储层有 2 套:中新统西河甫组和古近系。前者可分为 10 个砂岩段,分别赋存有 X₃, X₄¹, X₄², X₅², X₇¹, X₇², X₈ 和 X₉ 等 8 个油气藏。西河甫组明显表现出自上至下压力升高的规律,即:第三砂岩段(柯克亚 X₃ 气藏)压力系数 1.01,显然属常压气藏;第四—五砂岩段(X₄¹ 和 X₄²—X₅² 气藏)压力系数 1.17~1.23,在

常压气藏与异常高压气藏的过渡区;第七砂岩段的情况相同, X_7^1 和 X_7^2 气藏的压力系数1.18~1.23。第八砂岩段(X_8 气藏)因连续性差,兼之有大套泥岩与第七砂岩段相隔,压力系数1.37~1.46,已是异常高压气藏。再往下,西九段、西十段和巴什布拉克组(E_3b)为近千米厚的泥岩,是良好的封堵层,故其下的乌拉根组(E_2w)和卡拉塔尔组(E_2k ,碳酸盐岩储集层,卡拉塔尔气藏)的压力系数高达1.82~2.0^[3],发育超高压气藏。

英吉沙背斜上钻遇古近系含气地层的英科1井也揭示了同样的情况:自上而下地层压力升高(图6)。钻井底部的齐姆根组($E_{1-2}q$)和乌拉根组(E_2w)封堵性好,压力系数可高达1.8~2.2;上覆的巴什布拉克组(E_3b)、克孜洛依组(N_{1k})和安居安组(N_{1a})因压力释放,压力值明显降低,但压力系数仍大于1.4。帕卡布拉克组(N_{1p})为厚1 000~1 500 m的膏泥岩、泥岩和粉砂质泥岩,既是油气的盖层(安居安组是储层),又是异常高压的封堵层,压力系数上升至大于1.8。阿图什组(N_{2a})下部为厚度巨大的泥岩层,压力系数也高达1.8;该组中部(井深约3 000 m以上)也为异常高压地层,仅上部地层(井深约800 m以上)为正常压力。

综上所述,可发现塔西南地区异常高压的发育有不同于库车坳陷的若干特点。(1)异常高压地层

的层位高(上新统中部),异常高压地层顶面的埋深浅。这可能与上新世以来西昆仑山的强烈隆起、山前地区的急剧沉降和快速充填有关(现今埋藏较浅是后期剥蚀的结果)。(2)剖面上地层压力的结构较为复杂。在柯克亚背斜,地层压力自下而上表现为超高压、异常高压、常压—异常高压过渡带和常压的“四层楼”结构。英吉沙背斜的常压—异常高压过渡带不明显,地层压力自下而上表现为超高压、异常高压、超高压、异常高压和常压的“五层楼”结构。实际生产中已把该区的异常高压—超高压气藏(地层)分为深部的(古近系)和浅部的(新近系)。(3)没有一套区域上稳定发育、厚度巨大的膏盐层作为异常高压的封堵层(因而膏盐层上、下有明显不同压力值),异常高压是因分布相对局限的厚大泥岩层才得以封存的。换言之,如果把叶城凹陷视作一个异常高压封存箱的话,平面上它由若干个次级的封存箱构成,故尽管其面积大于库车坳陷,现存深部异常高压地层的分布范围却小于库车坳陷,目前在深部也只发现一个异常高压气藏即柯克亚的卡拉塔尔气藏。(4)就异常高压成因而言,西昆仑山前地区沉积速率巨大(新近系可厚达万米),除构造挤压外,沉积物的快速深埋而欠压实是一个显而易见的原因。深部异常高压流体(油气)的充注对浅部的中新—上新统中异常高压的形成也有贡献,故也属自源型高压和传导型高压(尽管是近源的)的叠加。它与库车坳陷的不同在于:塔西南的中新—上新统内的压力往下升高,后者(如克拉2气藏等)是天然气通过断层向储气构造内定向地充气,因而气藏内的压力自下而上升高。

3.4 成藏模式和成藏期

塔西南坳陷有2套主力烃源岩:一是石炭—二叠系海相深色生物灰岩和泥灰岩,二是中—下侏罗统的暗色泥岩和碳质页岩。石炭—二叠系烃源岩处于高成熟—过成熟阶段,以生气为主;中—下侏罗统源岩在某些地区已达过成熟阶段,以生气为主,在某些地区处于成熟阶段,以生油为主^[40]。前文已提及深部的为白垩系—古近系底部的储盖组合和古近系卡拉塔尔组储盖组合;浅部则由中新统的砂岩与其上的泥岩构成储盖组合。区域上重大的逆冲活动有2期,早期为侏罗纪—早白垩世,该期逆冲活动中发育的断层为油气运移到白垩系中提供了通道;晚白垩世—古近纪是构造平静期,上新世开始第二期重大的逆冲活动。

采自柯深1井6 341 m井段古近系灰岩中油气包裹体的测温结果表明:当时的深度为1 003 m。

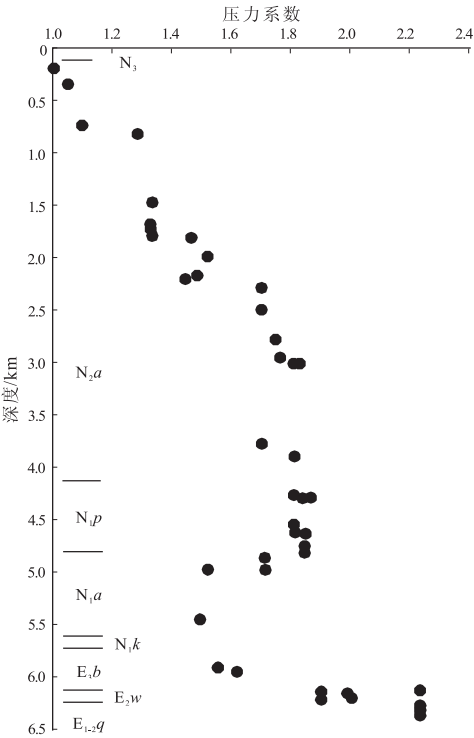


图6 叶城凹陷英吉沙背斜英科1井地层压力剖面^[16]

Fig.6 Stratigraphic pressure column of well Yingkel in Yingjisha anticline, Yecheng Sag

满—合什塔格背斜)出现,第Ⅱ排背斜的褶皱幅度增高(图7c)。因古近系普遍被卷入背斜褶皱,中新世形成的油气藏发生调整,一是构造调整,原岩性或地层圈闭的油气藏调整成为背斜构造圈闭的(油)气藏(图7c),二是强烈的气侵作用使原油气藏被破坏并改造为凝析气藏。

浅部(中新统西河甫组)柯克亚常压—异常高压气藏是晚上新世—早更新世成藏的,这一时期强烈的挤压活动使柯克亚背斜上发育多组不同方向的节理(裂缝),成为油气向上运移的通道;卡拉塔尔气藏因发育超高压而泥岩盖层被压裂,继而发生超高压流(气)体幕式地向上覆的中新统内排放。气源有2个:一是前述的石炭—二叠系和侏罗系,它可直接运移到中新统的圈闭内成藏;二是古近系油气藏,在后期的构造活动中它既发生调整,又向上运移到中新统内发生晚期次生成藏。中新统下部因有巨厚泥岩层发育,异常高压得以封存,如西河甫组中的 X_8 气藏。浅部泄压作用强烈,已成为常压气藏,如 X_3 气藏;这两者之间为常压—异常高压过渡带。无论是柯克亚背斜还是英吉沙背斜,都见从浅部(上新统或中新统)到深部(古近系)压力从正常值升高为异常高压直至超高压的情况,这是西昆仑山前的独特之处。西昆仑山前坳陷压力值垂向升高的实质,是一个经调整的古近系气藏(深部气藏)上叠了一个晚期充注形成的次生气藏(浅部气藏),中新—上新统的气藏部分源自古近系气藏。

4 讨论和结语

4.1 异常高压气藏的形成时间

据形成时间可把塔里木盆地的异常高压气藏分成2类:一类是因构造挤压和油气充注仍在发生因而异常高压现仍在形成中的;另一类是地史期间形成的异常高压得以保存至今的。前者可以库车地区(不包括依南2气藏)的5个气藏为代表,异常高压的成因是构造挤压和欠压实作用造成的自源型异常高压和油气充注造成的传导型异常高压(尽管是近源的)的叠加。地史期间保存下来的异常高压可以塔西南的柯克亚深部卡拉塔尔气藏为实例,古近系及下伏地层的异常高压因新近纪的快速沉降被深埋(由之引起欠压实)和构造挤压作用引起。异常高压得以保存除了有巨厚的泥岩作为封堵层之外还取决于2个原因:一是异常高压形成的时代相对年轻,兼之新近纪处于强烈的构造挤压中,上覆的新近系也有巨厚的异常高压地层发育,泄压作用发生得十分缓慢;二是柯克亚—桑株反冲

断层的发育,它向下延伸成为新近系与古近系之间的层间滑脱面,使向北扩展的冲断层向上延伸均收敛于此层间滑脱面而未能切进新近系内,即该反冲断层起了“屏蔽”作用,使柯克亚地区不发育连通古近系与新近系的断层。由于没有断层作为泄压通道,裂缝泄压和泥岩压裂泄压释放的量十分有限。库车坳陷的依南2气藏也是保存下来的地史期间的异常高压,除了吉迪克组中的膏盐岩作为封堵层外,中侏罗统上部 and 上侏罗统厚大的粉砂岩、泥岩既是油气盖层,也是异常高压的封堵层。

4.2 异常高压封存箱的分布

塔里木盆地内可识别出4个异常高压封存箱(图1),这里仅对2个山前坳陷中的封存箱作若干说明。库车坳陷中部冲断带异常高压成藏系统构成一个异常高压封堵箱。它位于南天山山前,封存箱的侧箱板的发育情况与准噶尔盆地上部异常高压封存箱的侧箱板^[42]类似。封存箱的顶箱板是新生界中的膏盐层,在西部和东部有不同的层位。封堵箱的底箱板是三叠系中的泥岩层。在该封存箱的东部,中—上侏罗统泥岩封隔层将该封存箱分为2个次级封存箱,依南2气藏位于下部次级封存箱,迪那2和克孜1气藏位于上部次级封存箱。

塔西南坳陷发育另一个重要的异常高压封存箱,侧箱板的发育情况与库车坳陷封存箱相似。其特点是纵向上至少可分出2个次级的封存箱。新近系构成浅部的次级封存箱,由中新统西河甫组或上新统阿图什组中的泥岩构成顶箱板,古近系巴什布拉克组(E_3b)及中新统底部的泥岩构成底箱板;后者也是古近系次级封存箱的顶箱板,古近系底部的膏盐(泥)层构成古近系次级封存箱的底箱板。这2个次级封存箱除压力值有别外,分布范围也有较明显区别。古近系的异常高压地层目前仅见于叶城凹陷齐姆根段和柯克亚段的第Ⅱ排背斜带。新近系的异常高压由构造挤压和巨大的沉降速率(及由之引起的欠压实)引起。喀什凹陷因受南、北2个陆内造山带发育的控制,处于更强烈的挤压环境中,因而在新近系中形成异常高压的条件优于叶城凹陷(古近系中的异常高压则因强烈的冲断作用破坏未能保存)。即:新近系的异常高压在喀什凹陷和叶城凹陷均有发育,故该次级封存箱的分布面积远大于古近系次级封存箱。叶城凹陷的白垩系及更老地层内如有异常高压保存,则构成另一个次级的封存箱,由古近系底部的膏盐(泥)岩构成顶箱板,中—下寒武统中的膏盐层构成底箱板。

4.3 异常高压气藏类型

塔里木盆地异常高压气藏可分为3类。第1类是自源型气藏,即储集层与烃源岩的层位相同,如依南2气藏。第2类是晚期充注型的气藏,以克拉2气藏为代表,储气构造形成于中新世晚期—上新世早期(康村组沉积期),该时期也是主要的成藏期,更新世以来天然气的充注使储量增大,压力进一步升高。这可能是前陆盆地最常见的一种异常高压气藏类型,库车坳陷中除依南2气藏外的5个异常高压气藏均属此类成因^[9]。塔西南柯克亚的浅部(中新统)气藏,储气构造于上新世晚期形成,更新世以来有天然气充注,也是晚期充注型的气藏。它与克拉2气藏的不同在于:除气源岩(石炭—二叠系和侏罗系)供气外还有深部(古近系)的卡拉塔尔气藏为之供气,属晚期次生成藏。位于克拉通上的吉拉克凝析气田也可归属此类。第3类是晚期调整的气藏,如柯克亚深部(古近系)卡拉塔尔气藏,中新世成藏,上新世—早更新世发生调整。晚期调整包括的含义:一是构造调整,因古近系褶皱而调整为背斜构造圈闭的气藏;二是强烈的气侵作用使原来的油气藏被破坏并改造为凝析气藏。

4.4 异常高压气藏形成的关键

气藏赋存于砂岩中,还必须有烃源岩为其供气,因而气藏常位于生气中心附近且有隐伏断裂作为运移通道(运移距离不大,即近源的)。最终决定能否成藏和成藏规模的因素是圈闭。总结库车坳陷的现有资料,可发现背斜圈闭对成藏最为有利,断背斜次之,断鼻构造则几乎难以成藏,可见背斜圈闭的完整性是该区油气藏形成的最关键因素。在塔西南进行勘探时应寻找区域上优质的异常高压封堵层的基础上充分汲取库车地区的这一宝贵经验。

在塔里木,褶皱构造的发育常受制于断裂构造带,这些褶皱可统称为断层相关褶皱^[43,44],故在研究含油气构造时首先要剖析断裂构造带。库车与叶城同处于山前地区,新生代均为陆内造山的前陆盆地,两地的异常高压气藏有不同的特点,可在断裂发育史中找到部分答案。塔北地块的基底构造为东西向,古生代东西向断裂基本处于平静期,海西—印支期因洋盆闭合和嗣后的碰撞而一度复活。新生代尽管有强烈活动,但毕竟属基底断裂的活化,兼之有厚度巨大的膏盐层发育,因而盐上层与盐下层的变形特征有明显不同,盐上层与盐下层中的油气分属不同的含油气系统,异常高压气藏仅见于盐下层。塔西南地区的基底构造为北东向,近北西向构造是因西昆仑洋的消减而出现的新生构造,

古生代和中生代都有活动^[39]。新生代进一步扩展壮大,影响的地域十分宽广,如巴楚断隆北界断裂(吐木休克断裂)更新世的活动^[45]是西昆仑山前冲断作用激活的结果;作为巴楚断隆与塔中低隆分界的北东向玛东3号断裂的走滑^[5]实际上也与西昆仑冲断带中的北东向变换构造属同一运动学系统。此外,它使塔西南的中生界—新生界都卷入了断层转折褶皱,且侏罗—白垩系、古近系与新近系有相同的变形样式。就油气成藏而言,第Ⅱ和第Ⅲ排背斜带的古近系与新近系属于同一个油气成藏系统,甚至在上新统内也有异常高压发育。西昆仑山前褶皱冲断带内部变形的明显差异主要表现在山前的第Ⅰ排背斜带与第Ⅱ、第Ⅲ排背斜带之间,因柯克亚—桑株反冲断裂的发育而形成;第Ⅰ排背斜带是三角构造带,构成一个独立的以常压为特征的油气成藏系统。

4.5 异常高压气藏勘探靶区

库车坳陷东、西两部因膏盐层的层位和厚度不同,勘探靶区相应地有所不同。东段的膏盐层层位高且厚度相对小,更新世变形对康村组沉积期形成的储气构造有一定的破坏,应以在东秋(里塔格构造带)背斜北翼的苏维依组中寻找迪那2型的异常高压气藏为主攻目标,还应注意在三叠—侏罗系中寻找自源型(依南2型)的异常高压气藏。西段已在克拉苏构造带上发现3个异常高压气藏;除自身尚有潜力外,可将勘探范围向南扩大到西秋里塔格构造带及拜城凹陷深部。塔西南地区尽管异常高压气藏的开发和开发早于库车地区(柯克亚气田1977年5月发现),但勘探程度远逊于后者;尤其是固满—合什塔格背斜(属山前的第Ⅲ排背斜带),因变形相对较弱,更应投入工作量,在寻找储气构造时应特别关注作为油气盖层和异常高压封堵层的泥岩的发育情况。

致谢:该项研究得到塔里木油田分公司江同文先生和王振彪先生的大力支持和帮助,与罗晓容先生、王震亮先生的讨论使作者获益匪浅,谨向他们衷心谢忱。

参考文献:

- [1] 解习农,李思田,刘晓峰.异常压力盆地流体动力学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.
- [2] 周兴熙.塔里木盆地天然气形成条件及分布规律[M].北京:石油工业出版社,1998.
- [3] 孙龙德.塔里木盆地凝析气田开发[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [4] Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormal pres-

- sured fluid compartment[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1-12.
- [5] 李曰俊, 吴根耀, 孟庆龙, 等. 塔里木盆地中央地区的断裂系统: 几何学、运动学和动力学背景[J]. 地质科学, 2008, 43(1): 82-118.
- [6] 吴根耀. 燕山运动和中国大陆晚中生代的活化[J]. 地质科学, 2002, 37(4): 453-461.
- [7] 李曰俊, 吴根耀, 雷刚林, 等. 新疆库车新生代前陆褶皱冲断带的变形特征、时代和机制[J]. 地质科学, 2008, 43(3): 488-506.
- [8] 吴根耀, 张洪安, 钱一雄, 等. 新疆塔里木库车冲断带东段更新世变形特征及其与西段的对比[J]. 第四纪研究, 2012, 32(5): 891-906.
- [9] 吴根耀, 梁江平, 杨建国, 等. “盆”“山”耦合在异常高压盆地流体研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 223-233.
- [10] 周兴熙. 塔里木盆地库车油气系统中、新生界的流体压力结构和油气成藏机制[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 351-361.
- [11] 杨海军, 李曰俊, 师骏, 等. 南天山晚新生代褶皱冲断带构造特征[J]. 第四纪研究, 2010, 30(5): 1030-1043.
- [12] 胡剑凤, 刘玉魁, 杨明慧, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造特征及其与油气的关系[J]. 地质科学, 2004, 39(4): 580-588.
- [13] 赵靖舟. 前陆盆地天然气成藏理论及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 121-153.
- [14] 张明利, 谭成轩, 汤良杰, 等. 库车坳陷克拉2气藏异常高压地层压力成因力学分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(1): 93-95.
- [15] 曾联波, 周天伟, 吕修祥. 构造挤压对库车坳陷异常地层压力的影响[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 471-475.
- [16] 赵靖舟, 胡云杨, 时保宏, 等. 塔里木盆地天然气成藏特征与分布规律[R]. 库尔勒: 塔里木油田分公司勘探开发研究院, 2003.
- [17] 周兴熙. 库车油气系统北带中、新生界主要储层孔隙流体超压成因探讨[J]. 古地理学报, 2003, 5(1): 110-119.
- [18] 田作基, 张光亚, 邹华耀. 塔里木库车含油气系统油气成藏的主控因素及成藏模式[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 12-16.
- [19] 赵靖舟, 罗继红, 时保宏, 等. 塔里木盆地油气成藏系统分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 311-316.
- [20] 王震亮, 张立宽, 施立志, 等. 塔里木盆地克拉2气田异常高压的成因分析及其定量评价[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 55-63.
- [21] 张立宽, 王震亮, 孙明亮, 等. 库车坳陷克拉2气田异常流体压力演化史[J]. 地质科学, 2007, 42(3): 430-443.
- [22] 田作基, 胡见义, 宋建国, 等. 塔里木库车陆内前陆盆地及其勘探意义[J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 105-112.
- [23] 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.
- [24] 张立宽, 王震亮, 于再平. 沉积盆地异常低压的成因[J]. 石油实验地质, 2004, 26(5): 422-426.
- [25] 王允诚, 孔金祥, 李海平, 等. 气藏地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [26] 张占武, 崔建堂, 王炬川, 等. 西昆仑康西瓦西北部角闪闪长岩和花岗闪长岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地质通报, 2007, 26(6): 720-725.
- [27] 计文化, 周辉, 李亚民. 西昆仑新藏公路 118~323 km 基性、酸性岩脉 K-Ar 年龄[J]. 地质通报, 2005, 24(3): 243-245.
- [28] 吴根耀. 造山带地层学[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000.
- [29] 吴根耀, 王晓鹏, 钟大赉. 藏东南地区早白垩世的安第斯型弧火山岩[J]. 岩石学报, 1999, 15(3): 422-429.
- [30] 孙龙德. 塔里木盆地库车坳陷与塔西南坳陷早白垩世沉积相与油气勘探[J]. 古地理学报, 2004, 6(2): 252-260.
- [31] 高长林, 叶德燎, 张玉箴, 等. 塔里木中新生代盆地扩张和盆地俯冲与地幔柱[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 661-669, 678.
- [32] 邵龙义, 何志平, 顾家裕, 等. 塔里木盆地古近纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 353-364.
- [33] 郑洪波, Butcher K, Powell C. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升: I 地层学与岩石学证据[J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 274-281.
- [34] 伍秀芳, 刘胜, 汪新, 等. 帕米尔—西昆仑北麓新生代前陆褶皱冲断带构造剖面分析[J]. 地质科学, 2004, 39(2): 260-271.
- [35] 苗继军, 贾承造, 侯向辉, 等. 塔里木盆地西部喀什地区新生代褶皱冲断带构造解析[J]. 地质科学, 2007, 42(4): 740-752.
- [36] 陈杰, 卢演涛, 丁国瑜. 塔里木西缘晚新生代造山过程的记录: 磨拉石建造及生长地层和生长不整合[J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 528-539.
- [37] 丁道桂, 汤良杰, 钱一雄, 等. 塔里木盆地形成与演化[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996.
- [38] 张洪安, 吴根耀, 李曰俊, 等. 塔里木盆地西部巴楚断隆南界断裂带的主要特征和构造演化[J]. 地质通报, 2011, 30(10): 1547-1556.
- [39] 吴根耀, 杨海军, 王步清, 等. 塔里木克拉通继承性构造与新生构造并存的时空发育特征及其对海相油气勘探的指导[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 315-323.
- [40] 吴超, 尚新璐, 陈军, 等. 新疆西部苏盖特构造带构造特征及勘探前景[J]. 地质科学, 2004, 39(4): 571-579.
- [41] 赵孟军, 张水昌. 塔里木盆地天然气成因类型及成藏条件[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(2): 27-31.
- [42] 吴孔友, 查明, 钟建华. 准噶尔盆地超压系统分布及其演化[J]. 地质科学, 2006, 41(4): 636-647.
- [43] Jamison W R. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes[J]. Jour Struct Geol, 1987, 9: 207-219.
- [44] Suppe J, Medwedeff D A. Geometry and kinematics of fault propagation folding[J]. Eclogae Geol Helv, 1990, 83(3): 409-454.
- [45] 朱德丰, 刘和甫, 吴根耀. 塔里木盆地西部吐木休克断裂带的主要特征与构造演化[J]. 地质科学, 2008, 43(2): 209-227.

(编辑 叶德燎)