柴达木盆地北缘冷湖七号构造油气成藏过程与模式

李宏义[1,2)]，汤良杰[1,2)]，姜振学[1,2)]，罗群[2)]

1) 中国石油大学盆地与油藏研究中心，北京，102249

2) 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室，北京，102249

内容提要：本文在对冷湖七号油气成藏条件综合分析的基础上，依据构造发育史与烃源岩生、排烃史，结合流体包裹体均一温度，分析了冷湖七号构造油气藏形成期次和过程，总结了东、西2个构造高点的油气成藏模式。研究结果表明：①冷七1井N_2^1层包裹体主要为含烃盐水包裹体和气态烃有机包裹体，其均一温度明显分为60~70℃和110~130℃两个峰值区，对应地质时间分别为N_2^1—N_2^2时期和N_2末—现今。结合源岩生、排烃史和构造演化史分析表明N_2^1—N_2^2时期为冷湖七号油气成藏的主要时期；②冷湖七号东高点N_2^1气藏形成机理与模式为：断控同生隆起—单源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—次生型断裂遮挡油气成藏模式；西高点E_3油藏形成机理与模式为：同生隆起—双源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—残留型原生油藏成藏模式。

关键词：柴达木盆地北缘；冷湖七号；成藏期次；成藏过程；包裹体；均一温度

油气成藏过程与模式是油气成藏研究的主要内容，而确定油气成藏期又是该项研究核心内容。成藏期实际上是烃类流体运聚成藏的时限，它是一个时间段（张文淮等，1993；覃健雄，1994；柳少波等1997；李明诚等，2005）。目前的成藏期确定方法主要为定性和定量两大类，定性分析主要根据构造演化史、圈闭形成史与烃源岩生、排烃史来判断油气成藏时间，包括油源岩主生油期法、圈闭形成期法和油藏饱和压力法3种常用方法（王飞宇等，2002；蒋有录等，2003；李明诚等，2005）。定量方法主要借助地球化学分析手段，根据储层成岩矿物及其中流体包裹体来确定油气成藏期，通过对流体包裹体均一温度和含烃组分等方面的测试，可以获得储层包裹体形成时的温度、压力和烃组分等地球化学信息，结合地层温度史和埋藏史的恢复，就可以较准确地确定油气在储集层中运聚充注和成藏的时期（刘文斌等，2003；李明诚等，2005），近年来，流体包裹体分析在储层成岩作用、油气运移聚集研究中得到了广泛应用（Eadington，1991；Oxtoby et al.，1995；George et al.，1998；郑有业等，1998；侯启军等，2004；朱光有等，2004；刘建章等，2005）；另外，还可以通过储层自生成岩矿物的同位素测年来确定油气成藏的时间，如K-Ar和Ar-Ar法（白国平，2000；王龙樟等，2005），但由于这类方法成本比较昂贵，其应用受到较大限制。

前人对冷湖地区油气藏形成条件进行过大量的研究工作，取得了大量的研究成果，对油气生成、储集、圈闭、保存等成藏要素进行了深入的研究（姜正龙等，2001；门相勇等，2001；高先志等，2002；王永卓等，2003；林腊梅等，2004；寇福德等，2005；谢宗奎等，2005；周炎如等，2005），然而对冷湖七号构造油气成藏机理与模式的研究尚欠深入。本文在对冷湖七号构造成藏条件综合分析基础之上，对其埋藏史和热史进行恢复，利用流体包裹体均一温度测试结果研究本区油气成藏的期次，结合构造演化剖面恢复结果及烃源岩生、排烃史，追溯油气运聚的历史，对冷湖七号构造东、西高点油气成藏模式进行总结。

1 地质背景

柴达木盆地北缘冷湖构造带油气资源丰富，已发现冷湖三号、冷湖四号和冷湖五号3个油田以及冷湖七号西高点油藏和冷湖七号东高点气藏。冷湖七号构造位于冷湖构造带东段，是冷湖构造带中规模最大的背斜构造，南邻伊北烃源中心，北靠赛什腾

注：本文为国家自然基金项目（编号40472078）和国家“十五”天然气（二期）攻关项目（编号2004BA616A-04）共同资助的成果。

收稿日期：2006-12-14；改回日期：2007-01-10；责任编辑：周健。

作者简介：李宏义，男，1979年生，在读博士生，主要从事油气藏形成机理与分布规律的研究。通讯地址：102249，北京市昌平区，中国石油大学盆地与油藏研究中心；电话：010-89733768；Email：lhybasin@163.com。

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

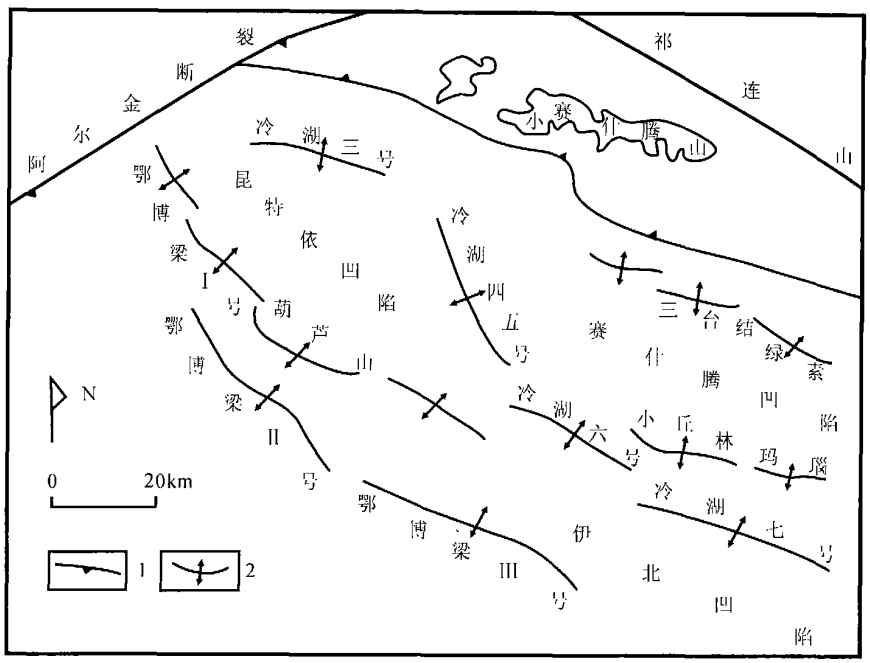

图 1 冷湖七号构造区域位置略图

Fig. 1 Location of Lenghu No. 7 in regional tectonics

1—逆冲断层; 2—褶皱带

1—Thrust fault; 2—fold belt

生烃凹陷(图 1)。发育层位主要有侏罗系小煤沟组(J_1)、古近系路乐河组(E_{1+2})和下干柴沟组(E_3)以及新近系上干柴沟组(N_1)和油砂山组(N_2)(党玉琪等, 2003)。该区在太古宇的花岗岩基底上, 经历了燕山、喜马拉雅期的沉积构造演化, 发育了中新生界多套构造层序, 形成了以下侏罗统(J_1)为生油层, 古近系(E)和新近系(N)为储层的含油气系统(谢宗奎等, 2005)。近年来分别在冷湖七号构造东、西两高点实施钻探, 其中钻探在东高点的冷七 1 井在 N_2^1 获低产气流, 钻探在西高点的冷七 2 井在 E_3 获低产油流, 没有达到预期的勘探效果。

2 成藏条件

2.1 油气源条件

冷湖七号构造南北分别与伊北凹陷和赛什腾凹陷相邻, 具有十分优越的油气源条件。伊北凹陷 J_1 烃源岩最大厚度超过800m, 有机质丰度高(平均 2.5% 以上), 以Ⅲ型有机质为主。该套烃源岩在 E_{1+2} 即进入生烃门限, 其门限深度在 3400 m 左右, E_3—N_1 为其主要的生油高峰期, N_1 末期源岩顶面 R_o 已达到 1.3%, 现今 R_o 演化到过成熟干气阶段。赛什腾凹陷 J_2 暗色泥岩厚度多在 100~ 200 m, 有机质丰度相对较低, 以Ⅲ型有机质为主, 凹陷中心 R_o 值为 0.62%~ 1.4%。该套烃源岩在古近纪晚期开始排烃, N_1—N_2 早期为主要的生油高峰期, N_2 中期达高成熟阶段, 新近纪末期达到过成熟阶段。

2.2 圈闭条件

冷湖七号构造是沿冷七断裂扩展的一个局部构造, 呈沿冷七断展近东西向平行展布的不规则长条形, 剖面上为受冷七断裂控制的长轴断展背斜, 共发育东、西 2 个构造高点。通过 99-231 测线揭示, 该构造总体受南北两条背冲断层的控制, 褶皱南陡北缓, 核部被一南倾的浅层滑脱断层复杂化。深层具有冲起构造特征, 中浅层发育南倾北冲滑脱断裂及其所控制的断滑背斜。该区主要发育背斜、断背斜以及断层遮挡等断层相关构造圈闭。

2.3 油气输导条件

运移通道是连接源岩和圈闭的纽带, 是油气成藏的关键因素之一。冷湖七号发育的浅部滑脱断裂、深部背冲断裂为该区油气垂向运移提供了良好的通道条件。渗透性地层和不整合面通常是油气侧向运移的通道, 该区侏罗系生油岩之上的路乐河组地层砂岩发育, 中、新生界之间的区域不整合面, 具有明显的角度不整合特征, 对古近系原生油气藏的

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形成起到了很好的通道和输导作用。

3　成藏期次

目前, 利用油气包裹体研究油气充注史已被证明是一种行之有效的方法(Rossi et al. , 2002; 张金亮等, 2002; 朱扬明等 2004; 李明诚等, 2005; Megan et al. , 2006)。流体包裹体是矿物结晶生长时, 被包裹在矿物晶格的缺陷或空穴内的那部分成矿流体, 简称矿物包裹体或包裹体。流体包裹体忠实地记录了流体当时的物理、化学状况, 因而被普遍地用于研究地下流体运聚和成矿作用, 烃类流体包裹体记录了油气成藏的主要过程, 并不能记录全部过程, 且烃类流体包裹体记录的主要是早期成藏过程(朱炎铭等, 2005) 。通过包裹体测温, 确定生油岩的成熟度和油气的演化程度, 推断油气运移的时间、方向和成藏期, 为勘探提供重要的信息(张铭杰等, 2004)。

本文对取自冷七 1 井 N_2^1 粉砂岩产气储层的 3 个样品制成的薄片进行了显微观察, 同时进行了 18 个测点的包裹体均一温度测试, 测试对象主要为石英次生加大边和石英裂缝中与气态烃共生的盐水包裹体。镜下观察发现, 冷七 1 井储层包裹体包括石英裂缝中的次生盐水包裹体(图 2a)、石英次生加大边中的气态有机包裹体(图 2b) 和石英裂缝中的次生含烃盐水包裹体(图 2c)。即烃类包裹体有两类: 一是气态烃有机包裹体, 主要存在于石英次生加大边之中, 呈群体定向分布; 另一类为含烃盐水包裹体, 呈串珠状分布于石英裂缝之中, 反映两次油气充注过程。这从包裹体的均一化温度统计中得到验证(图 2d)。图 2d 中有两个均一温度的高峰区, 一是 60~ 70℃, 一是 110~ 130℃。利用包裹体均一温度, 结合冷湖七号地区沉积埋藏史和热史(图 3) 恢复结果可知, 冷湖七号构造是一个发育于古凸起之上的同沉积构造, 具有断裂沟通。至少有两次油气充注期, 第一期(60~ 70℃) 充注埋深约为 1900~ 2200 m, 对应地质时期为 N_2^1—N_2^2, 此期油气充注形成石英次生加大边上的群体定向次生包裹体伴生有气态烃包裹体, 包体大小 4 × 3~ 4 × 5 μm^2, 他形为主; 第二期(110~ 130℃) 埋深约为 3000~ 3200 m,

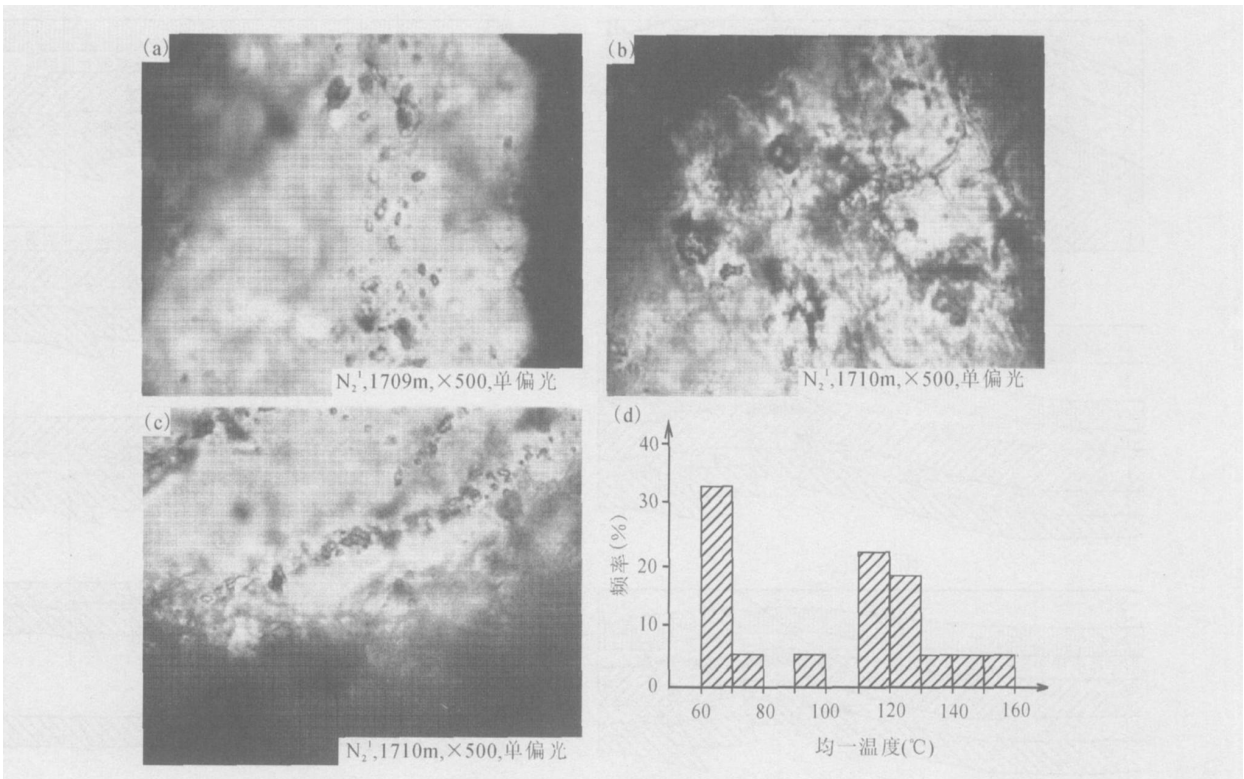

图 2　冷七 1 井 N_2^1 包裹体及其均一温度分布图

Fig. 2　Fluid inclusions and distribution of homogenization temperature in E_2^1 reservoir of Lengqi 1 well

(a) —石英裂隙中的次生盐水包裹体; (b) —石英中气态有机包裹体; (c) —石英裂隙中的次生含烃盐水包裹体; (d) —包裹体均一温度分布直方图

(a) —Secondary saline water inclusion in fissure of quartz; (b) —gaseous organic inclusions in quartz; c) —secondary hydrocarbon and saline water inclusion in fissure of quartz; (d) —distribution of homogenization temperature of inclusions

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

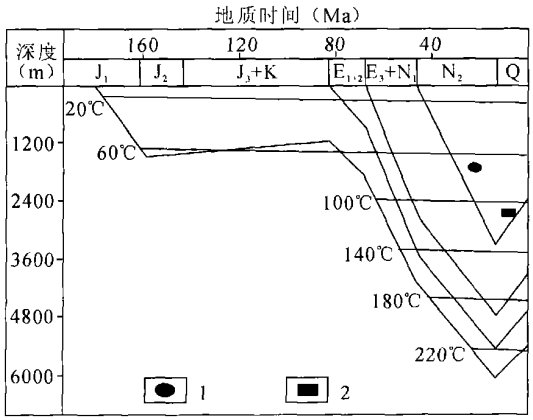

图 3 冷湖七号构造沉积埋藏史和成藏期次

Fig. 3 The burial history and hydrocarbon accumulation periods of Lenghu No. 7

1—第一期充注; 2—第二期充注

1—The first accumulation period; 2—the second accumulation period

对应地质时期为 N_2 末—现今, 此期油气充注形成的包裹体发育于石英裂缝中, 主要为含烃盐水包裹体, 串球状分布, 原形– 他形, 大小 4×5~ 4×6μm²。

4 成藏过程及模式

4.1 冷湖七号西高点油藏

依据构造发育史及烃源岩生、排烃史, 并结合流体包裹体分析, 追溯 E_3 油藏的形成过程。如图 4 所示, 冷湖七号西高点在下侏罗统沉积时为一断隆, 南北侧为受正断裂控制的相对低洼区——伊北凹陷和赛什腾凹陷, 第三纪以来长期受挤压而沉降, 拉张断裂反转, 古隆起在基底断裂控制下长期同沉积生长形成现在两断夹一隆的同沉积背斜, E_3^2—N_1 时期同沉积背斜圈闭开始接受来自两侧凹陷沿断裂及不整合运移而来的石油在 E_3 圈闭中聚集形成原生油藏。N_2^2 末油藏达到较大的规模, 为典型的两断中隆背景下的同沉积背斜油藏。N_2 末期的强烈构造运动在

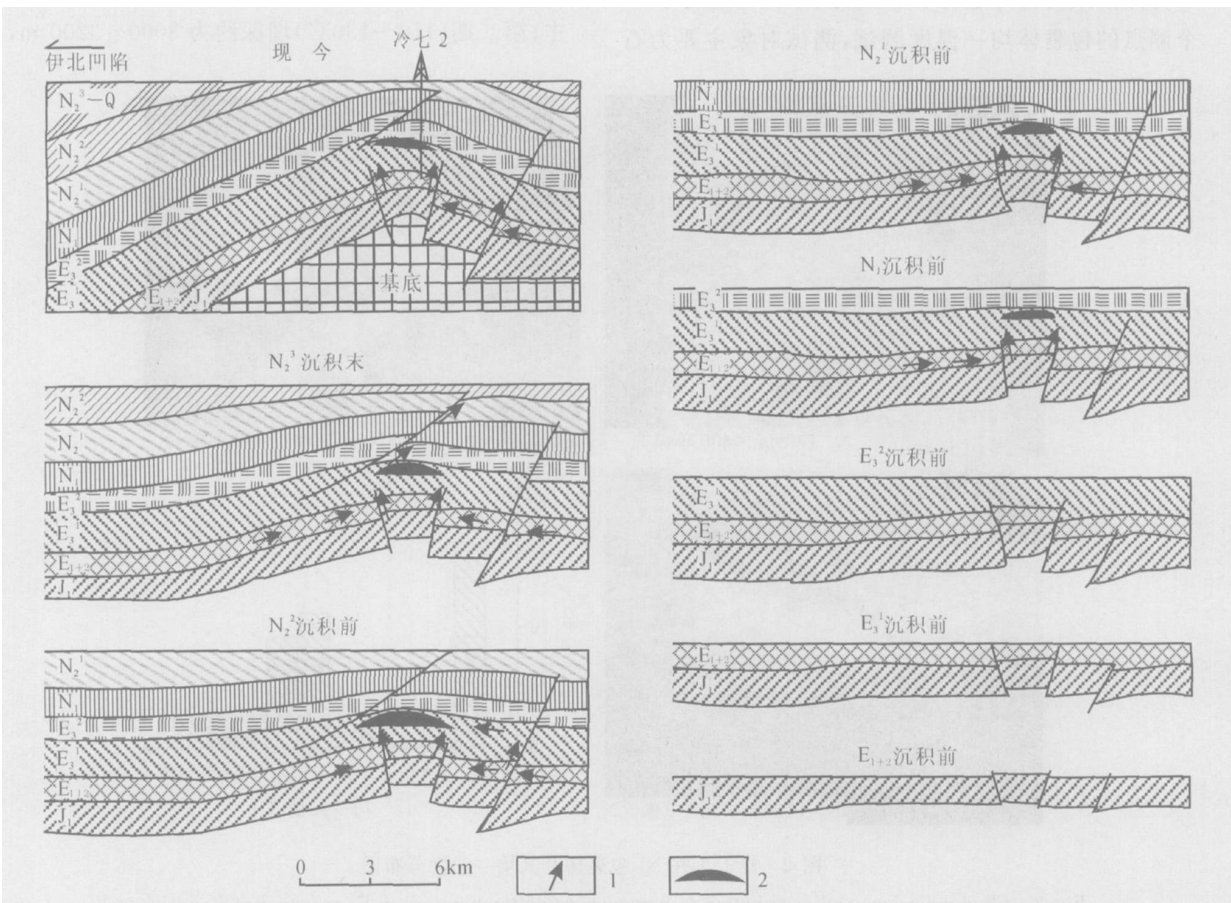

图 4 冷湖七号构造 E_3 油藏形成过程示意图

Fig. 4 The formation process of oil pool in E_3 of Lenghu No. 7 structure

1—油气运移方向; 2—油气藏

1—Direction of hydrocarbon migration; 2—oil and gas pool

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中浅层产生滑脱断裂, 切割 E_3 原生油藏, 导致油气的大量散失, 并可能在上部层位滑脱断裂下盘圈闭中形成次生断层遮挡油气藏。E_3 油藏被部分保留下来, 形成今天的 E_3 残留型原生油藏。因此, 可将其形成机理与模式总结为: 同生隆起—双源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—残留型原生油藏成藏模式。

4.2　冷湖七号东高点气藏

冷七 1 井 N_2^1 气藏赋存于浅层滑脱断裂下盘断背斜圈闭之中, 圈闭中滑脱断裂为其遮挡条件。由于北侧赛什腾凹陷中侏罗统烃源岩演化程度相对较低, 排气强度低(不到 800 m^3/m^2) , 难以有大量天然气排出, 因此, 冷七号构造东高点 N_2^1 气藏的气主要来自于其南侧的伊北生烃凹陷。冷湖七号东高点为受断裂控制的同沉积构造, 构造演化过程与西高点类似, 其南侧伊北深凹中排出的高成熟气在浮力作用下沿下侏罗统顶不整合面向北构造高部位运移, 遇基底断裂之后沿断裂垂直运移, 再通过浅层滑脱断裂向上运移, 进入其下盘圈闭中聚集, 形成 N_2^1 气藏, 滑脱断裂为遮挡条件(图 5) 。因此, 冷湖七号东高点 N_2^1 气藏成藏机理和模式总结为: 断控同生隆起—单源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—次生型断裂遮挡成藏模式。

5　结论和建议

(1) 冷七 1 井 N_2^1 层包裹体主要为气态烃有机包裹体和含烃盐水包裹体, 其均一温度明显分为 60 ~ 70 ℃和 110~ 130 ℃两个峰值区, 对应地质时间分别为 N_2^1—N_2^2 时期和 N_2 末—现今。结合源岩生、排烃史和构造演化史分析表明, N_2^1—N_2^2 时期为冷湖七号油气成藏的主要时期。

(2) 冷湖七号东高点 N_2^1 气藏形成机理与模式为: 断控同生隆起—单源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—次生型断裂遮挡油气成藏模式; 西高点 E_3 油藏形成机理与模式为: 同生隆起—双源供烃—不整合、断裂输导—浮力驱动—残留型原生油藏成藏模式。

(3) 由于冷七 1 井钻遇层位浅, 没有打穿深层(如 E_3^2、E_{1+2}) , 从油气成藏条件分析, 冷七号东高点深层应该具备形成大型、特大型气藏的条件, 值得高度重视。这是因为从目前地震剖面看, 浅层滑脱断裂几乎对深层构造圈闭没有造成大的破坏(都断至 E_3^2 上部及以上层位, 对 E_3^1、E_{1+2} 没有影响) , 并且具备了气源充足、储盖组合好、长期同沉积隆起, 圈闭规模大和畅通的运移通道的有利条件。建议加强东高点深层油气成藏条件分析, 加强地震攻关, 以获得更可靠的地震成像品质, 进一步落实圈闭, 力争在深层取得天然气勘探的重大突破。

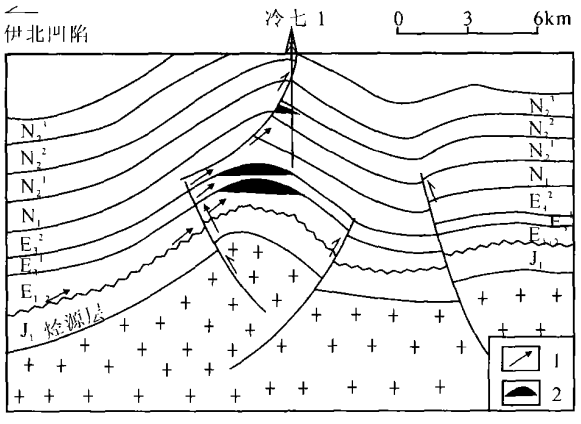

图 5　冷湖七号东高点油气成藏模式图
(据 218 地震测线)

Fig. 5　The model of hydrocarbon migration and accumulation in the eastern structural high of Lenghu No. 7 structure

1—油气运移方向; 2—气藏

1—Direction of hydrocarbon migration; 2—gas pool

参　考　文　献

白国平. 2000. 伊利石 K-Ar 测年在确定油气成藏期中的应用. 石油大学学报(自然科学版), 24(4) : 100~ 103.

党玉琪, 胡勇, 余辉龙, 等. 2003. 柴达木盆地北缘石油地质. 北京: 地质出版社, 45~ 78.

高先志, 陈发景. 2002. 柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究. 地球科学——中国地质大学学报, 27(6) : 757~ 762.

侯启军, 冯子辉, 霍秋立. 2004. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷石油运移模式与成藏期. 地球科学——中国地质大学学报, 29(4) : 397~ 403.

姜正龙, 孙德君. 2001. 柴达木盆地北缘下侏罗统含油气系统研究. 石油勘探与开发, 28(6) : 9~ 11.

蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 2003. 东营凹陷油气成藏期分析. 石油与天然气地质, 24(3) : 215~ 218.

寇福德, 朱玉洁, 李建明. 2005. 冷湖地区下侏罗统储层成岩作用研究. 石油天然气学报(江汉石油学院学报) , 27(6) : 695~ 698.

李明诚, 单秀琴, 马成华, 等. 2005. 油气成藏期探讨. 新疆石油地质, 26(5) : 587~ 591.

林腊梅, 金强. 2004. 柴达木盆地北缘和西部主力烃源岩的生烃史. 石油与天然气地质, 25(6) : 677~ 681.

刘建章, 陈红汉, 李剑, 等. 2005. 运用流体包裹体确定鄂尔多斯盆地上古生界油气成藏期次和时期. 地质科技情报, 24(4) : 60~ 65.

刘文斌, 姚素平, 胡文瑄, 等. 2003. 流体包裹体的研究方法及应用. 新疆石油地质, 24(3) : 264~ 267.

柳少波, 顾家裕. 1997. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论. 石油与天然气地质, 18(4) : 326~ 328.

门相勇, 赵文智, 余辉龙. 2001. 柴达木盆地北缘冷湖地区油气成藏条件研究与勘探建议. 石油勘探与开发, 28(4) : 4~ 7.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

覃建雄. 1994. 流体包裹体在沉积盆地分析中的应用. 地质科学情报, 13(2): 39~ 42.

王飞宇, 金之钧, 吕修祥, 等. 2002. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法. 地球科学进展, 17(5): 754~ 762.

王龙樟, 戴橦谟, 彭平安. 2005. 自生伊利石$^{40}Ar/^{39}Ar$法定年技术及气藏成藏期的确定. 地球科学——中国地质大学学报, 30(1): 78~ 82.

谢宗奎, 刘人和, 苏燕, 等. 2005. 柴达木盆地冷湖七号构造成藏分析及勘探意义. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 27(3): 451~ 452.

张金亮, 常象春, 刘宝 , 等. 2002. 苏北盐城油气藏流体历史分析及成藏机理. 地质学报, 76(2): 254~ 260.

张铭杰, 唐俊红, 张同伟, 等. 2004. 流体包裹体在油气地质地球化学中的应用. 地质论评, 52(5): 397~ 406.

张文淮, 陈紫英. 1993. 流体包裹体地质学. 武汉: 中国地质大学出版社.

郑有业, 李晓菊, 马丽娟, 等. 1998. 有机包裹体在生油盆地研究中的应用. 地学前缘, 5(1- 2): 325~ 331.

周炎如, 袁剑英, 何亨华. 2005. 柴达木盆地北缘含油气系统及油气勘探方向. 新疆石油地质, 26(4): 346~ 349.

朱光有, 金强, 戴金星, 等. 2004. 东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究. 石油与天然气地质, 25(2): 209~ 215.

朱炎铭, 秦勇, 王猛, 等. 2005. 矿物流体包裹体分析及其在石油地质研究中的应用. 中国矿业大学学报, 34(2): 184~ 187.

朱扬明, 翁焕新, 苏爱国, 等. 2004. 柴达木盆地尕斯库勒油田原油油源特征及成藏分析. 地质学报, 78(2): 253~ 262.

Eadington P J. 1991. Fluid history analysis: a new concept for prospect evaluation. The APPEA Journal, 31: 301~ 310.

George S C, Lisk M, Summons R E, et al. 1998. Constraining the oil charge history of the South Pepper oilfield from the analysis of oil- bearing fluid inclusions. Organic Geochemistry, 29: 631~ 648.

Megan E Elwood Madden, David A Kring, Robert J Bodnar. 2006. Shock reequilibration of fluid inclusions in Coconino sandstone from Meteor Crater, Arizona. Earth and Planetary Science Letters, 241: 32~ 46.

Oxtoby N H, Mitchell A W, Gluyas J G. 1995. The filling and emptying of the Ula oil field: fluid inclusion constraints. In: Cubitt J M, England W A, eds. The Geochemistry of Reservoirs. London: Geological Society Special Publication 86, 141~ 157.

Rossi G, Godlstein R H, Ceriani A, et al. 2002. Fluid inclusion record thermal and fluid evolution in reservoir sandstones, Khatatba Formation, western Desert, Egypt: A case for fluid injection. AAPG Bulletin, 86: 1773~ 1799.

Process and Model of Hydrocarbon Accumulation in the Area of Lenghu No. 7 on the Northern Margin of the Qaidam Basin

LI Hongyi[1, 2], TANG Liangjie[1, 2], JIANG Zhenxue[1, 2], LUO Qun[2]

1) *Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing,* 102249

2) *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, Beijing,* 102249

Abstract

On the basis of synthetic study on the geological conditions in the area of Lenghu No. 7, the course and model of hydrocarbon accumulation were discussed depending on the research of the tectonic evolution and the generation and expulsion history of source rocks and homogenization temperatures of fluid inclusions. The result shows, ① Fluid inclusions in N_2^1 reservoir can be divided into two types of saltwater inclusion and organic inclusion. Homogenization temperatures of inclusions can be divided into two periods of 60~ 70℃ and 110~ 130℃ and their corresponding geological periods are Early Pliocene- Middle Pliocene and the end of Pliocene- Present respectively. A mass of oil and gas injection occurred in the period from the Early Pliocene to Middle Pliocene; ② The hydrocarbon accumulation mechanism and model of western structural high oil pool of Lenghu No. 7 can be summarized as syndepositional upheaval structural trap, two hydrocarbon sources, unconformity and faults as migration channels, buoyancy as dynamic forces, and finally a destructive primary reservoir. While that of the western structural high oil pool of Lenghu No. 7 can be summarized as syndepositional upheaval controlled by fault structural trap, single hydrocarbon source, unconformity and faults as migration channels, buoyancy as dynamic forces, and finally a secondary fault sealed reservoir.

Key words: Qaidam Basin; Lenghu No. 7; hydrocarbon accumulation; fluid inclusion; homogenization temperature

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net