

DOI: 10.16108/j.issn1006-7493.2020040

引用格式: 陈睿倩, 柳广弟, 孙明亮, 曹玉顺, 刘祥柏, 李强. 2022. 冀北拗陷中元古界流体包裹体与油气成藏期次研究 [J]. 高校地质学报, 28(1): 064-072

冀北拗陷中元古界流体包裹体与油气成藏期次研究

陈睿倩, 柳广弟, 孙明亮, 曹玉顺, 刘祥柏, 李强

油气资源与探测国家重点实验室, 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

摘要: 冀北拗陷中元古界地层分布有广泛的沥青、油苗显示, 说明该地区曾发生过大规模的生烃成藏历史。文章运用显微岩相学观察和流体包裹体分析技术, 对冀北拗陷芦家庄古油藏和双洞古油藏进行了油气成藏期次研究。通过显微岩相学及包裹体测温显示, 芦家庄古油藏在中元古代经历了第一次大规模的油气成藏后, 在燕山期经历了第二期次的油气成藏过程; 双洞古油藏则在燕山期经历了两个期次的油气成藏过程。包裹体均一温度分析显示, 两个古油藏在燕山期的油气成藏时间集中于185~150 Ma。研究表明, 冀北拗陷古油藏的成藏关键期与燕山期区域性火山活动异常活跃所致的古地温高温期有关。

关键词: 成藏期次; 流体地球化学; 芦家庄古油藏; 双洞古油藏; 冀北拗陷

中图分类号: P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1006-7493(2022)01-064-09

Fluid Inclusions and Hydrocarbon Accumulation Stages of Mesoproterozoic Reservoirs in the Jibei Depression

CHEN Ruiqian, LIU Guangdi, SUN Mingliang, CAO Yushun, LIU Xiangbai, LI Qiang

State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

Abstract: Solid bitumen and oil seepage are widely distributed in the Mesoproterozoic strata in the Jibei Depression, North China, suggesting large scales of hydrocarbon accumulation. In this study, microscopic petrographic observations and fluid inclusion analyses were used to reconstruct the hydrocarbon accumulation history in the Lujiazhuang and Shuangdong paleo-oil-reservoirs within the Jibei Depression. Results show that there was a large scale of hydrocarbon accumulation during the Mesoproterozoic. One more stage of hydrocarbon accumulation occurred during the Yanshanian in the Lujiazhuang paleo-oil reservoirs, while two more stages in the Shuangdong paleo-oil reservoirs. The homogenization temperatures of fluid inclusion indicate that the time of hydrocarbon accumulation of the two paleo-oil reservoirs during the Yanshanian was concentrated during 185–150 Ma. Our study shows that the critical time of hydrocarbon accumulation in the Jibei Depression was related to the high paleo-geotemperature caused by regional active volcanic activity during the Yanshanian.

Key words: hydrocarbon accumulation stage; fluid geochemistry; Lujiazhuang paleo-oil reservoir; Shuangdong paleo-oil reservoir; Jibei Depression

First author: CHEN Ruiqian, Associate Professor; E-mail: richen@cup.edu.cn

收稿日期: 2020-07-09; 修回日期: 2020-11-23

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0603106)资助

作者简介: 陈睿倩, 1987年生, 女, 博士, 副教授, 从事石油地质学和地球化学研究; E-mail: richen@cup.edu.cn

中国燕山地区中—新元古界页岩和碳酸盐岩中含有丰富的有机质,虽然地层年代古老,但是一些地区的中—新元古界地层中有机质演化程度适中,尚处于“生油窗”的范围内,是中国前寒武系地层中最具有勘探潜力的地区之一(王铁冠等,1988;郝石生,1990;赵澄林,1997;王杰等,2004;刘岩等,2011)。其中,冀北拗陷地表油苗、沥青显示十分广泛,产出地点多达110余处(刘岩等,2011),主要集中在下马岭组、铁岭组和雾迷山组地层中(王铁冠等,2016),指示着该地区曾发生过大规模的油气生成与充注过程。作为一个潜在的油气勘探新领域,冀北拗陷中—新元古界油气资源的勘探引起了石油地质界的日益关注。从20世纪50年代起,中国的地质工作者就对冀北拗陷的油苗和沥青做过详细地调查(吴迪,2015);王铁冠院士在2011年出版的《论中—新元古界的原生油气资源》中阐述了华北地区冀北拗陷的中—新元古界地层具有良好的含油性和勘探前景(王铁冠和韩克猷,2011)。这些研究成果进一步印证了冀北拗陷中—新元古界形成原生油气藏的条件是存在的。

前人对冀北拗陷中—新元古界从构造、地层、岩相和有机岩石学等方面都进行了较全面地研究,尤其是对烃源岩的有机地球化学特征进行了详细分析,对该地区油苗和沥青的来源有了系统的认识(刘宝泉等,2000;欧光习和李林强,2006;王铁冠等,2016)。吴迪(2015)以凌源地区龙潭沟古油藏为主要研究对象,利用大量岩石薄片显微岩相

学与油气包裹体研究,提出了冀元1井及邻区中元古界有多期油气充注过程,其中,下马岭组石英砂岩古油藏早期小规模成藏时间开始于217 Ma,属于晚三叠世,第二期大规模油气充注开始于155 Ma,属于晚侏罗世早期或中侏罗世晚期,且油气成藏时间集中于150~180 Ma。然而,对于冀北拗陷中—新元古界另外两个古油藏(芦家庄古油藏和双洞古油藏)中各时期的烃类流体包裹体特征以及油气成藏历史缺乏系统、深入的研究。本文主要从显微岩相学和流体包裹体特征对冀北拗陷的宽城芦家庄古油藏和平泉双洞古油藏的油气成藏史进行研究和重建,其研究结果可以深化对冀北拗陷中元古界洪水庄组、下马岭组和雾迷山组等重要烃源岩的烃类形成和演化、油气藏成藏及充注特征的认识,对该地区油气勘探有着重要的理论价值和现实意义。

1 研究区地质概况

冀北拗陷位于华北地台燕山褶皱带的中段,西接密怀隆起,东临辽西凹陷,北抵内蒙地轴,向南至山海关隆起(图1)。由于研究区受到古亚洲构造域和滨太平洋构造域的复合叠加,使得本区域构造演化极其复杂(王杰等,2004;吴迪,2015)。从中元古代到新生代,冀北拗陷沉积构造演化史可以分为以下四个阶段:(1)中元古代至中奥陶世为长期稳定下沉阶段,沉积了巨厚的以盐酸岩盐为主的海相地层;(2)石炭纪至中三叠世主要是以地壳上升为主及海陆交互沉积,表现为从海相过渡

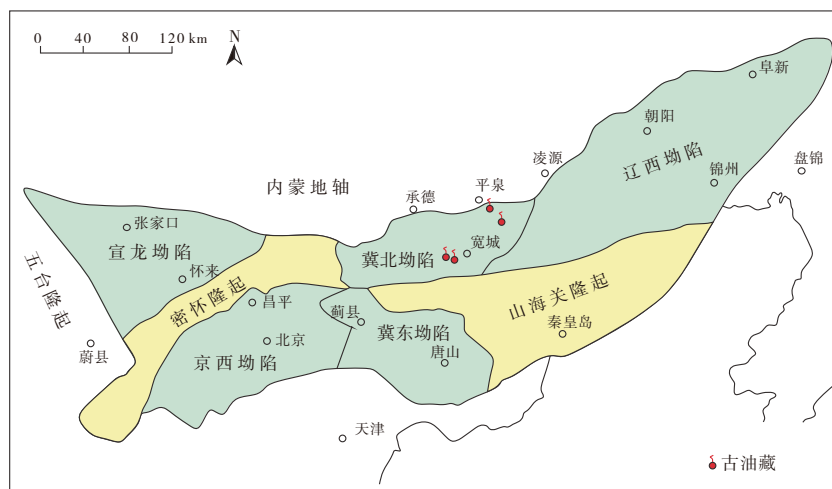


图1 燕辽裂陷带地质构造单元及古油藏分布

Fig. 1 Geological structural units and distributions of paleo-oil reservoirs in the Yanliao faulted-depression zone (according to Wang et al., 2016)

到陆相沉积；(3) 上三叠世至白垩纪构造活动主要表现为剧烈的地壳褶皱和断裂活动，并伴随着异常活跃的岩浆活动；(4) 自新生代开始地层抬升，遭受强烈的剥蚀（林晓辉和秦正永，2003；吴迪，2015）。冀北拗陷也是中国中—新元古界发育最全、保存最好的地区之一，地层自下而上发育有长城系、蓟县系、待建系和青白口系（吴迪，2015；王铁冠等，2016），其中，中元古界的蓟县系是本次研究的主要层系。蓟县系自下而上发育了杨庄组白云岩、雾迷山组白云岩、洪水庄组页岩、铁岭组灰岩和下马岭组页岩（温献德，1989；赵澄林，1997；张敏，2005）（图2）。冀北拗陷岩浆活动强烈，且具有多期活动、分布受区域断裂控制的特点。其中，中元古代和燕山期的岩浆活动对冀北拗陷的油气成藏与聚集有着非常重要的影响。火山活动主要出现在雾

迷山组和下马岭组沉积时期，其中，中元古代的火山活动体现在下马岭组底部沥青砂岩与火成岩侵入体有明显且广泛的共存关系，而燕山期的火山活动则形成了厚度变化巨大的侏罗纪和白垩纪火山碎屑沉积（王铁冠，1980；王铁冠等，1988；刘岩等，2011）。

根据研究区油苗点和沥青点的分布特征，前人命名了4个古油藏，分别是宽城芦家庄和塌山古油藏，平泉双洞古油藏和凌源龙潭沟古油藏。平泉双洞古油藏是一处背斜型古油藏，区域构造部位属于平泉背斜带东北端的双洞短轴背斜构造。该古油藏地油苗分布广泛，在萤石矿露天采石场中，从蓟县系雾迷山组、铁岭组和下寒武统的府君山组的灰岩裂隙中，常见油苗渗出，或含有无流动性的稠油，此类油苗点共约30处（王铁冠等，2016）。宽城芦家庄古油藏在区域构造上位于郭杖子单斜带的北缘，属于岩性地层型古油藏，在下马岭组出露处均能发现到下马岭组底部沥青砂岩，镜下可以观察到明显的固体沥青存在（刘岩等，2011；王铁冠等，2016）。关于古油藏中油气成藏的时间，一直存在不同的观点。郝石生（1984）利用了燕山地区大地热流值，结合古成熟生油门限分析，提出了燕山地区原生油气藏的形成时间大约是从三叠纪开始，直至侏罗纪结束。秦建中（2005）通过冀北拗陷的有机质成熟度数据重建了该地区的生烃史，提出了第一次生烃是从石炭纪—二叠纪开始，到三叠纪末结束；第二次生烃起始于侏罗纪末。张敏（2005）通过流体包裹体研究认为辽西—冀北地区的中—新元古界地层一共发生了三至四次的油气成藏过程，其中，印支—燕山期的构造活动对油气运移提供了良好的通道。本次研究试图通过古油藏中流体包裹体的显微岩相学和测温学研究，综合埋藏史和热史，解剖冀北拗陷芦家庄和双洞古油藏的烃类充注成藏与演变历史。

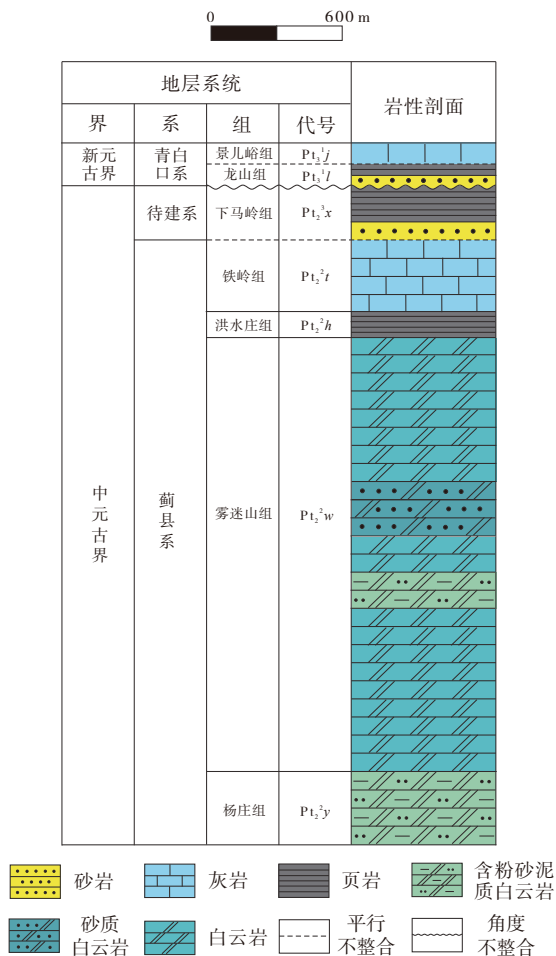


图2 冀北拗陷中—新元古界地层及岩性特征
Fig. 2 Generalized stratigraphy and lithology characteristics of the Meso-Neoproterozoic strata in the Jibei Depression (according to Wang et al., 2016)

2 样品采集与实验方法

本次研究对冀北拗陷宽城芦家庄古油藏和平泉双洞古油藏的10块样品进行了流体包裹体观察与测试（图1）。其中，7块沥青砂岩样品采集于芦家庄古油藏的下马岭组底部，样品主要呈较松散，未完全固结的沥青砂；其余3块样品采集于双

洞古油藏雾迷山组灰岩的顶部，样品以发育了萤石脉的碳酸盐岩为主。流体包裹体分析测试是在核工业北京地质研究院流体包裹体实验室完成。测试环境的温度和相对湿度保持在 25℃ 和 40%，本研究一共对 10 个样品中的 131 个包裹体进行观察和测试，其中，有效数据有 106 个。研究中，对包裹体的偏光和荧光特征观察是在 Leica DMRX HC 研究级反一透射光显微镜进行的。对包裹体均一温度的测定对象是与烃类包裹体同期伴生的含烃盐水包裹体。其中，均一温度和盐度是在 LINKAM THMS600 型冷热台进行的，冷热台的分辨率为 0.1℃，均一法测温精度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。分析方法和依据为中华人民共和国核行业标准(EJ/T1105-1999)《矿物流体包裹体温度的测定》。

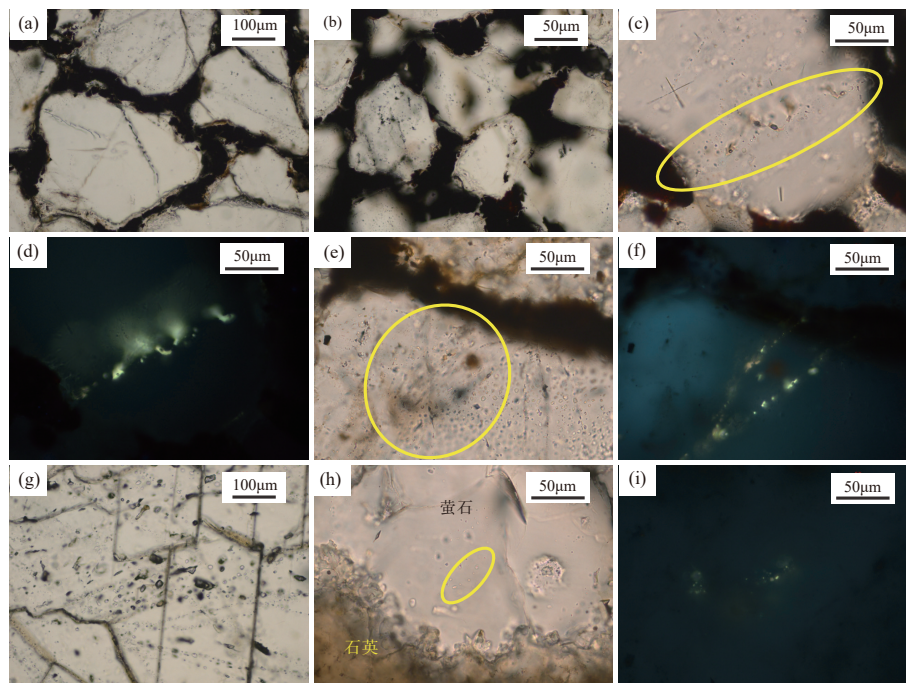
3 流体包裹体特征

3.1 岩矿与包裹体显微特征

通过显微岩相学观察，在宽城芦家庄古油藏的砂岩中，大部分石英颗粒粒间孔隙充填了黑色、黑

褐色固体沥青，反映该砂岩曾经经历过大规模的油气充注(图 3a)。该砂岩的成岩作用较弱，石英颗粒普遍发育次生加大，粒间孔隙为晚期胶结石英所充填。前人研究表明(刘岩等, 2011)，该砂岩有两期油气充注，第一期油气充注发生于成岩作用之前，第二期发生于成岩期后。在本次研究中，笔者认为该古油藏的砂岩也经历了两期油气充注。第一期油气充注发生于石英颗粒次生加大之前，该期次的油气充注表现为砂岩石英颗粒粒间孔隙普遍充满了黑色和黑褐色沥青，抑制了成岩作用。然而，随着该期次的油气充注遭到破坏，液体烃在高温的条件下，蚀变成为固体沥青并残存在颗粒间的空隙中。在成岩阶段，石英颗粒表面变为亲水性，部分石英颗粒出现了次生加大现象，空隙间残存的固体沥青受到挤压，因此，在发育有次生加大边的石英颗粒周围呈现出线接触和凹凸接触(图 3b)，且固体沥青悬浮和被排斥。

包裹体显微岩相学表明，与该沥青砂岩第一期油气充注相关的含烃盐水包裹体发育程度很低，在



(a) 下马岭组砂岩石英颗粒粒间孔隙充填黑褐色稀油沥青；(b) 石英颗粒粒间沥青被挤压、排斥现象；(c) 单偏光下含烃包裹体沿石英颗粒成岩期后微裂隙成带分布；(d) 荧光下呈黄色的轻质油气包裹体，沿石英颗粒成岩期后微裂隙成带分布；(e) 下马岭组石英颗粒中“X”型微裂隙，如黄色圈所示；(f) 荧光下“X”型微裂隙中呈黄绿色液烃包裹体；(g) 雾迷山组碳酸盐岩中的包裹体，沿萤石脉微裂隙成带分布，包括呈深灰色的天然气包裹体与无色—灰色的含烃盐水包裹体；(h) 雾迷山组石英脉孔隙充填少量萤石矿物，包裹体沿萤石矿物微裂隙成带分布，如黄色圈所示；(i) 萤石裂隙中呈黄色荧光的轻质油气包裹体

图3 冀北凹陷古油藏岩矿与包裹体显微特征

Fig. 3 Photomicrographs showing mineralogy, petrology and fluid inclusions of the paleo-oil reservoirs in the Jibei Depression

经历了辉绿岩侵入及后期的地质作用后已无法辨别。此外,前人研究表明,该地区第一期的油气充注发生在高于庄组烃源岩生排烃期(王铁冠等,2016)。此时,下马岭组仍处于沉积阶段,埋藏较浅,被捕获的包裹体温度与地表温差很小,相分异就无法产生,均一温度也无法测得。对于盐水包裹体,如果形成温度低于50℃就难以发生相分异,只能观察到纯液相包裹体(Goldstein and Reynolds, 1994)。

第二期油气包裹体发育于砂岩成岩期后,发育丰度极高(GOI为6%),包裹体沿石英颗粒成岩期后微裂隙成带分布,液烃包裹体呈淡黄色,显示黄色、黄绿色荧光,气烃呈灰色,无荧光显示。其中液烃包裹体占10%,气液烃包裹体占90%。与这期包裹体伴生的盐水包裹体产状和发育特征与其相似,主要分布在环石英颗粒加大边或沿切穿石英颗粒及加大边微裂隙(图3c, d),呈线状/带状分布,有些石英颗粒中可以观察到微裂隙呈“X”型(图3e, f)。沿微裂隙分布的包裹体有的切穿石英颗粒及固体沥青,表明这些微裂隙的产生是在固体沥青形成之后,这一期的烃类充注则晚于固体沥青。综上所述,芦家庄古油藏除了黑色和黑褐色的固体沥青之外,还有显示黄色荧光的中质原油(图3d)及黄绿色荧光的中—轻质原油(图3f)(陈汉红,2014),反映了一期较大规模的中—轻质油运移,表明了该地层仍保存有少量原油。

平泉双洞古油藏雾迷山组顶部的碳酸盐岩中发育了大量的萤石脉及微晶石英矿物,其间可见大量的烃类包裹体。包裹体显微岩相学表明,萤石中烃类包裹体主要有两种赋存状态:(1)包裹体沿萤石矿物微裂隙成带分布(图3g),发育程度较高(GOI为4%),液烃包裹体呈透明无色(占5%),显示蓝绿色荧光,气烃包裹体呈灰色(占95%),无荧光显示;(2)石英脉中孔洞充填萤石矿物(图3h),石英矿物粒间孔隙充填大量黄褐色稀油沥青,萤石中包裹体发育丰度较低(GOI为2%),且沿萤石及石英矿物微裂隙成带分布,液烃包裹体呈淡黄色(占10%),显示黄色荧光(图3i),气烃包裹体呈灰色(占90%),无荧光显示。

3.2 包裹体均一温度及盐度特征

含烃盐水包裹体是由盐水和微量的轻烃组成,

并且捕获温度与均一温度很接近,所以含烃盐水包裹体的均一温度更能反映出成岩或成藏时的温度(陈红汉等,2002;曹青等,2015;吴迪,2015;张俊武等,2015)。因此,笔者在对包裹体岩相学及显微观察的基础上,选取与油气包裹体伴生的、均一捕获的含烃盐水包裹体进行显微温度和盐度测试(表1;表2)。从均一温度分布图上可以看出,芦家庄古油藏的下马岭组底部砂岩层在燕山期只发育了一期次的流体包裹体,且包裹体主要分布在沿石英颗粒加大边微裂隙、沿石英颗粒微裂隙以及沿切穿石英颗粒及其加大边微裂隙,这三类赋存矿物产状的包裹体均一温度的主峰主要分布在90~100℃之间(图4a)。平泉双洞古油藏的雾迷山组顶部灰岩层在燕山期主要发育了两期次的流体包裹体,其温度分布在100~130℃和130~160℃,主峰位于110~120℃和140~150℃之间(图4b)。其中,第二期次的流体包裹体主要发育在沿孔洞充填萤石晶体微裂隙中。包裹体的盐度是根据盐水溶液的冰点与盐度的对应关系换算而来(余宏全等,2006)。通过表1和表2可以看出,芦家庄古油藏的大部分包裹体盐度小于12 wt%,属于低盐度水溶液(卢焕章等,2004)。双洞古油藏中,大部分包裹体盐度分布在0~2 wt%的区间中,仅有少量的包裹体盐度分布在10~14 wt%的范围内。这部分包裹体有可能受到了成岩环境下流体包裹体再平衡的作用,使得其盐度升高,这时包裹体记录的为混源流体信息,不能代表原始捕获条件(Goldstein, 2001;曹春梦等,2017)。

4 油气成藏演化综合研究

在石油地质学领域,利用烃类流体包裹体研究油气成藏期次已经被国内外学者广泛应用(Mclimans, 1987; Burley et al., 1989; Carlos et al., 2002; 欧光习等,2006;曹青和柳益群,2007;陈哲龙等,2015)。根据对包裹体的显微岩相学观察,对矿物中烃类包裹体的形成期次进行划分,分析与其伴生的含烃盐水包裹体的形成温度,再结合研究区储层的埋藏史—热史,就可以得到古油藏油气充注的期次与时间。

显微岩相学观察表明,芦家庄古油藏下马岭组底砂岩普遍发育了固体沥青。显然,这些固体沥青

表1 冀北拗陷芦家庄古油藏下马岭组底砂岩流体包裹体特征
Table 1 Characteristics of fluid inclusions in the Xiamaling sandstone, the Lujiashuang paleo-oil-reservoir, Jibei Depression

层位	样品号	包裹体类型	赋存矿物产状	均一温度/℃	盐度/(wt%NaCl)
下马岭组	X1	含烃盐水	沿切穿石英颗粒及其加大边微裂隙	109	15.2
			沿石英颗粒加大边微裂隙	101~119 (3)	0.71~14.98
			沿石英颗粒微裂隙	91	10.04
	X2	含烃盐水	环石英颗粒加大边	94~126 (3)	/
			沿石英颗粒微裂隙	98~115 (3)	1.74~8.95
	X3	含烃盐水	环石英颗粒加大边	94~101 (4)	5.25~6.88
			沿石英颗粒加大边微裂隙	92~115 (4)	9.73~9.86
	X4	含烃盐水	沿石英颗粒微裂隙	98	0.35
			沿石英颗粒微裂隙	103~119 (3)	5.26
	X5	含烃盐水	沿切穿石英颗粒微裂隙及其加大边	105~112 (2)	1.06
			沿石英颗粒加大边微裂隙	97~104	0.88~1.06
	X6	含烃盐水	沿石英颗粒微裂隙	92~114 (3)	0.71~1.06
			沿石英颗粒加大边微裂隙面	101~127 (3)	0.35~1.57
			沿石英颗粒加大边微裂隙	92~120 (5)	0.53~0.71
环石英颗粒加大边			115~126	1.74	
沿石英颗粒微裂隙			102	0.53	
X7	含烃盐水	环石英颗粒加大边	92~104	8.68~8.81	
		沿石英颗粒加大边微裂隙	121	1.57	
		沿石英颗粒微裂隙	101~105	1.4	

表2 冀北拗陷双洞古油藏雾迷山组顶部灰岩流体包裹体特征
Table 2 Characteristics of fluid inclusions in the Wumishan limestone of the Shuangdong paleo-oil-reservoir, Jibei Depression

层位	样品号	期次	包裹体类型	赋存矿物产状	均一温度/℃	盐度/(wt%NaCl)
雾迷山组	S1	第一期	含烃盐水	沿萤石脉微裂隙	108~126 (15)	1.4~13.94
		第二期			142~144 (5)	9.89~10.04
	S2	第一期	含烃盐水	沿萤石脉微裂隙	109~121 (15)	0.35~0.88
		第二期			148~163 (12)	0.35~1.4
	S3	第一期	含烃盐水	沿孔洞充填萤石矿物微裂隙	122~128 (2)	0.71
		第二期			136~164 (15)	0.71~1.4

应该是以液态石油的渗滤方式充注到底砂岩, 再经过后来的蚀变作用才演变成沥青砂岩。根据前人研究(王铁冠等, 2016), 下马岭底砂岩的沥青组分在正交偏光显微镜下可观察到数量不等的雏晶镶嵌结构。雏晶镶嵌结构的形成, 标志着在岩浆高温烘烤的状态下, 古油藏中油分子中的可溶组分逐渐丧失, 氢原子急剧减少, 碳原子开始结晶, 这可以作为古油藏热蚀变导致沥青形成的重要佐证。此外, 冀北拗陷下马岭组普遍夹有 1~4 层的辉长辉绿岩侵入体, 顺层分布在下马岭组地层中。锆石 U-Pb 定年显示辉长辉绿岩的侵位年龄值约在 1327 Ma, 因此, 由辉长辉绿岩侵入而引起的围岩蚀变的时间为 1327 Ma。由此可见, 下马岭组底砂岩古油藏的早期的石

油充注应该发生于这个时间之前, 第一期油气充注的存续时限为 1400~1327 Ma (王铁冠等, 2016)。

根据盐水包裹体均一温度统计结果, 芦家庄古油藏中第二期成藏的均一温度 90~120℃, 其温度主峰位于 90~100℃之间。结合埋藏史和古地温史, 该古油藏第二次油气充注时间开始于 215 Ma, 属于晚三叠世, 并在早侏罗世晚期至中侏罗世达到高峰(图 5)。前人研究表明, 这一期的油气充注受控于火山活动的影响(吴迪, 2015; 刘岩等, 2011; 王铁冠等, 2016)。冀北拗陷在燕山期岩浆活动频繁、强烈且广泛分布。其中, 侏罗纪是喷发活动的主要时期(赵国春, 2003)。这一时期, 冀北地区火山喷发主要有早侏罗世南大岭期、中一

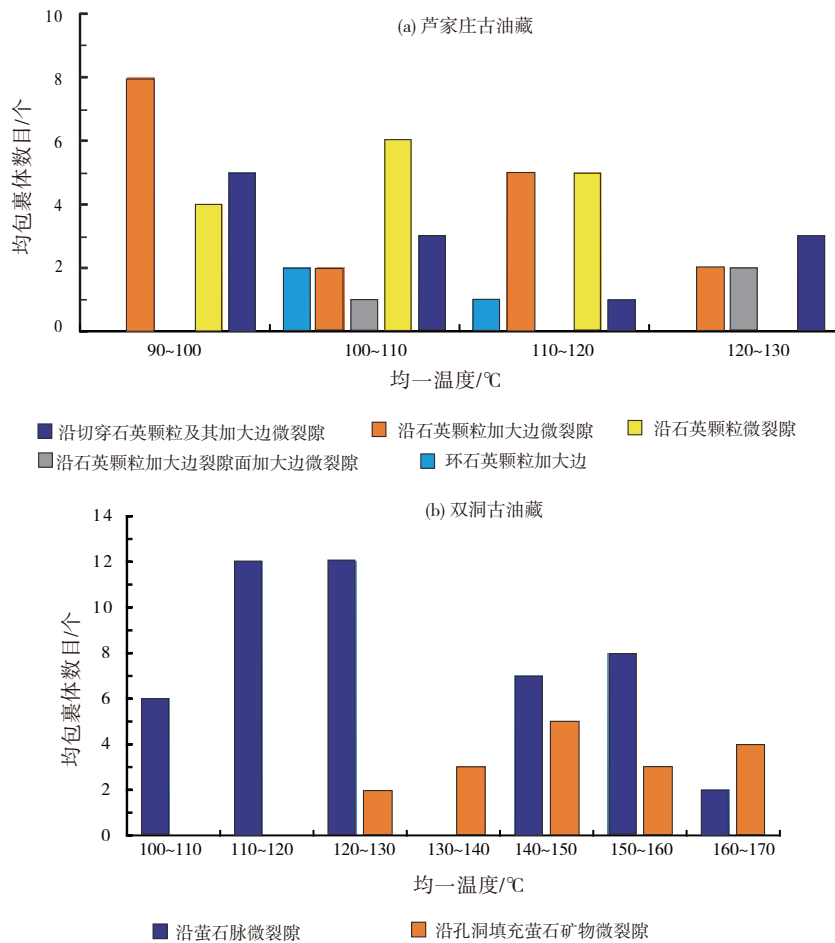


图4 冀北坳陷古油藏含烃盐水包裹体均一温度分布图

Fig. 4 Histograms showing homogenization temperatures of saline inclusions in paleo-oil-reservoirs, Jibei Depression

晚侏罗世髫髻山期、早白垩世东岭台阶段和东狼沟阶段(白志民等, 1999)。岩浆侵入活动也被划分出三期, 侵入体绝对年龄分别为: 185~170 Ma、170~140 Ma、140~110 Ma(齐雯, 2010; 吴迪, 2015), 表明芦家庄古油藏在燕山期发生的油气充注受到了第一期岩浆侵入的影响。

与芦家庄古油藏相似, 双洞古油藏顶部灰岩储层也经历了早期的一次油气充注过程(即1400~1327 Ma), 但是, 这一期的油气并没有在该古油藏中保存下来。根据包裹体附存矿物生长关系和形成温度, 双洞古油藏在燕山期发生了第二次和第三次油气充注(图5)。成藏均一温度分别为100~130°C和130~160°C。结合埋藏史和古地温史, 推测该灰岩顶部第二次和第三次油气充注时间于185 Ma和150 Ma, 属于早侏罗世中晚期和晚侏罗世(图5)。

总体而言, 芦家庄古油藏与双洞古油藏中后期

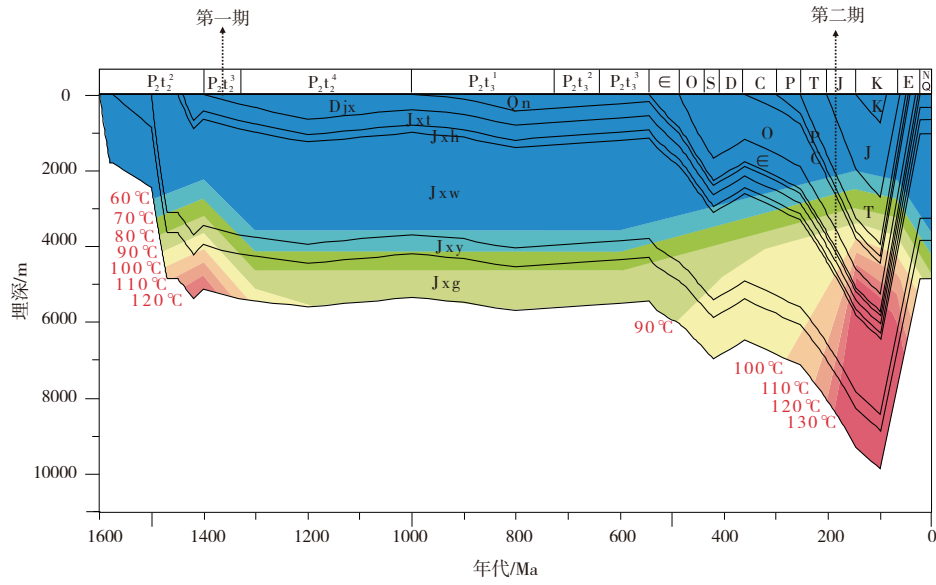
的油气充注成藏与该地区燕山期的火山岩浆活动异常有关, 尤其, 大规模的油气成藏期集中在燕山中期, 此时期也是火山活动异常期与古地温高温期, 为冀北古油藏的烃源岩生排烃提供了非常有利的条件。

5 结论

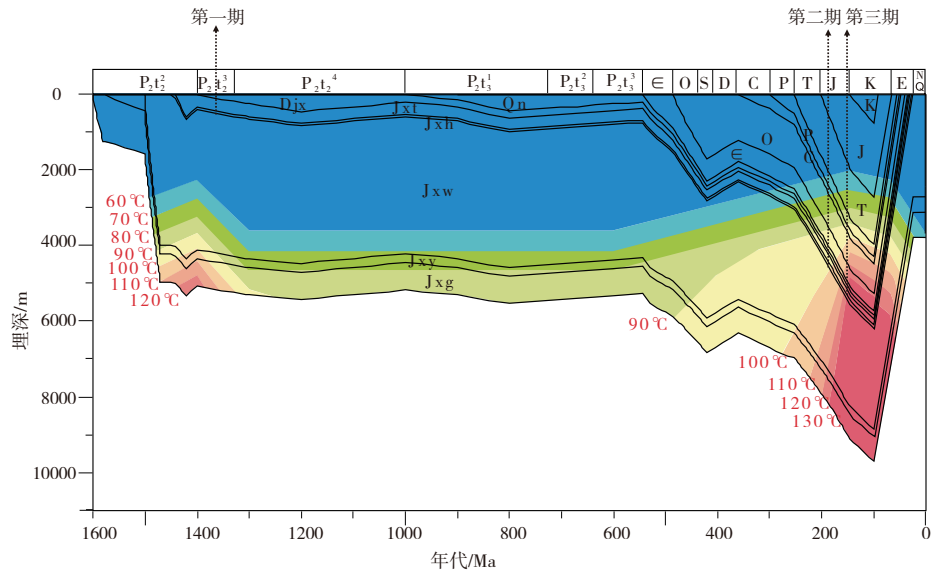
(1) 芦家庄古油藏下马岭组底砂岩的大部分石英颗粒粒间孔隙充填了黑色、黑褐色固体沥青, 揭示该砂岩曾经经历过大规模的油气充注, 且这一期次充注的油气在高温作用下遭到破坏, 蚀变成为固体沥青并残存在颗粒空隙中。

(2) 包裹体测温结果表明, 芦家庄古油藏在燕山期经历了一期较大规模的油气充注, 以黄色荧光的正常原油以及弱黄绿色的轻质原油为主, 并在早侏罗世晚期至中侏罗世达到高峰。

(3) 双洞古油藏雾迷山组顶部灰岩在燕山期发



(a) 冀北坳陷芦家庄古油藏埋藏史与成藏时间



(b) 冀北坳陷双洞古油藏埋藏史与成藏时间

图5 冀北坳陷古油藏埋藏史与成藏时间

Fig. 5 Burial history and times of hydrocarbon accumulation in the Jibei Depression

生了两次油气充注，与芦家庄古油藏类似，在燕山期发生的油气充注过程与这一时期强烈的岩浆活动密切相关。这一时期的火山活动异常期与古地温高温期，为冀北古油藏的烃源岩生排烃提供了有利条件。

致谢：感谢中国石油大学（北京）钟宁宁教授在样品采集过程中的帮助，感谢核工业北京地质研究院张敏老师在包裹体分析中的帮助。

参考文献 (References):

白志民, 葛世伟, 鲍亦冈. 1999. 燕山造山带中生代火山喷发及岩

浆演化[J]. 地质论评, 45(7): 534-540.

曹梦春, 陈勇, 刘闯, 等. 2017. 沉积盆地成岩环境下流体包裹体再平衡机制及其判别方法[J]. 地质论评, 63(1): 21-34.

曹青, 高俊梅, 范立勇, 等. 2015. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界流体包裹体特征及其意义[J]. 天然气地球科学, 26(12): 2245-2253.

曹青, 柳益群. 2007. 三塘湖盆地流体包裹体研究及其应用[J]. 岩石学报, 23(9): 2309-2314.

陈红汉. 2014. 单个油包裹体显微荧光特性与热成熟度评价[J]. 石油学报, 5(3): 584-590.

陈红汉, 董伟良, 张树林, 等. 2002. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 23(3): 207-211.

陈哲龙, 柳广弟, 卢学军, 等. 2015. 应用流体包裹体研究储层油

- 气充注特征——以二连盆地为例[J]. 天然气地球科学, 26(1): 60-70.
- 郝石生. 1990. 华北北部中—上元古界石油地质学[D]. 东营: 石油大学出版社.
- 郝石生. 1984. 冀辽拗陷中—上元古界原生气远景[J]. 石油与天然气地质, 5(4): 342-348.
- 林晓辉, 秦正永. 2003. 冀北辽西地区构造形迹的新认识[J]. 地质找矿论丛, 18(2): 9-14.
- 刘宝泉, 秦建中, 李欣. 2000. 冀北拗陷中—上元古界烃源岩特征及油苗、油源分析[J]. 海相油气地质, 5(2): 35-46.
- 刘岩, 钟宁宁, 田永晶, 等. 2011. 中国最老古油藏——新元古界下马岭组沥青砂岩古油藏[J]. 石油勘探与开发, 38(4): 123-132.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 2004. 流体包裹体析[M]. 北京: 科学出版社.
- 欧光习, 李林强. 2006. 辽西—冀北拗陷中—上元古界油源及成藏期分析[M]. 矿物岩石地球化学通报, 25(1): 87-91.
- 欧光习, 李林强, 孙玉梅. 2006. 沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J]. 矿物岩石地球化学通报, 25(1): 1-11.
- 秦建中. 2005. 中国烃源岩[M]. 北京: 科学出版社.
- 齐雯. 2010. 燕山地区中—新元古界流体历史分析和油气成藏历史重建[M]. 北京: 中国石油大学.
- 王杰, 陈践发, 窦启龙. 2004. 华北北部中、上元古界生烃潜力特征研究[J]. 石油实验地质, 26(2): 206-211.
- 王铁冠. 1980. 燕山地区震旦界油苗的原生性及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 7(2): 34-52.
- 王铁冠, 韩克猷. 2011. 论中—新元古界的原生气资源[J]. 石油学报, 32(1): 1-7.
- 王铁冠, 黄光辉, 徐中一. 1988. 辽西龙潭沟元古界下马岭组底砂岩古油藏探讨[J]. 石油与天然气地质, 9(3): 278-287.
- 王铁冠, 钟宁宁, 王春江, 等. 2016. 冀北拗陷下马岭组底砂岩古油藏成藏演变历史与烃源剖析[J]. 石油科学通报, 1: 24-37.
- 温献德. 1989. 华北北部中晚元古代岩相古地理及其演化[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 13(2): 13-21.
- 吴迪. 2015. 冀元1井及邻区中元古界流体包裹体与油气运移期次研究[D]. 北京: 核工业北京地质研究院.
- 余宏全, 李进文, 丰成友, 等. 2006. 西藏多不杂斑岩铜矿床高温高盐度流体包裹体及其成因意义[J]. 地质学报, 80(9): 1434-1447.
- 张俊武, 邹华耀, 李平平, 等. 2015. 含烃盐水包裹体PVT模拟新方法及其在气藏古压力恢复中的应用[J]. 石油实验地质, 37(1): 102-108.
- 张敏. 2005. 辽西—冀北地区中新元古界油气运聚期次研究[D]. 北京: 中国地质大学.
- 赵澄林. 1997. 华北中新元古界油气地质与沉积学[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵国春. 2003. 燕辽地区燕山期火山活动节律与造山—深部过程[D]. 北京: 中国地质大学.
- Burley S D, Mullis J and Matter A. 1989. Timing diagenesis in the tartan reservoir (UK North Sea): Constraints from combined cathodoluminescence microscopy and fluid inclusion studies [J]. Marine & Petroleum Geology, 6(2): 98-120.
- Carlos R, Robert H, Goldstein A, et al. 2002. Fluid inclusions record thermal and fluid evolution in reservoir sandstones, Khatatba Formation, Western Desert, Egypt: a case for fluid injection [J]. AAPG Bulletin, 86(10): 1773-1799.
- Goldstein R H and Reynolds T J. 1994. Fluid inclusion petrography [J]. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals.
- Goldstein R H. 2001. Fluid inclusion in sedimentary and diagenetic systems [J]. Lithos, 55(1): 159-193.
- Melimens R K. 1987. Application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs [J]. Applied Geochemistry, 2(5-6): 585-603.