

塔里木盆地卡塔克隆起斜坡区油气成藏期次研究

张育民

(中国石化 石油化工管理干部学院, 北京 100012)

摘要:利用塔里木盆地卡塔克隆起西北部的中 1 井、顺托果勒低隆起的顺 1 井等钻井资料,在对多套层系的含油性观察、成岩序列判识的基础上,研究了各种成岩矿物中的流体包裹体类型、丰度、组合和赋存状态等特征,并综合运用包括包裹体均一温度及冰点测定、砂岩储层中自生伊利石 K-Ar 同位素测年以及古地温、埋藏史和构造演化史等技术方法及综合资料,揭示了卡塔克隆起斜坡区内多层系不同相态烃类的充注成藏—调整改造或破坏过程。研究区内主要存在 3 期油气成藏:第一期成藏时间为 410~370 Ma(相当于加里东晚期),第二期成藏时间集中在 280~175 Ma(相当于海西晚期—印支期),第三期成藏时间为 80~23 Ma(相当于燕山晚期—喜马拉雅中晚期)。其中,下古生界存在 3 期成藏过程,上古生界有 2 期成藏,碎屑岩中油气充注—成藏集中于海西晚期。

关键词:自生伊利石 K-Ar 同位素测年;油气成藏期次;烃类包裹体;卡塔克隆起;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Petroleum charge history of the slope area of Katake Uplift in Tarim Basin

ZHANG Yumin

(SINOPEC Management Institute, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the oil and gas observation and diagenetic sequence identification of multiple sets of strata by using drilling data from well Zhong 1 on the northwestern slope of Katake Uplift and well Shun 1 in the Shuntuoguole Low Uplift of Tarim Basin, fluid inclusion types, abundance, composition and occurrence state of diagenetic minerals were studied in this paper. The comprehensive use of technical methods and data including homogenization temperature and freezing point determination of fluid inclusions, K-Ar isotope dating of authigenic illites in sandstone reservoirs, paleo-geothermometry, burial and tectonic evolution histories revealed the accumulation, adjustment or deformation of multi-facies of hydrocarbons in various formations on the slope of Katake Uplift. Results indicated three stages of hydrocarbon accumulation in the study area. The first stage was 410–370 Ma (the late Caledonian), the second stage was 280–175 Ma (the late Hercynian to Indosinian), and the third stage was 80–23 Ma (the late Yanshanian to middle and late Himalayan). There were three stages of accumulation in the Lower Paleozoic and two stages in the Upper Paleozoic. The charging and accumulation of oil and gas in clastic rocks concentrated in the late Hercynian.

Key words: K-Ar dating of authigenic illite; hydrocarbon accumulation stage; hydrocarbon fluid inclusion; Katake Uplift; Tarim Basin

卡塔克隆起是塔里木盆地三大古隆起之一,也是重要的含油气区之一,分别在寒武系、奥陶系、志留系及上泥盆统—石炭系发现了工业油气流^[1]。中国石化自 2001 年起就开始在卡塔克隆起斜坡区开展油气勘探,相继在隆起西北部的中 1 井奥陶系鹰山组和隆起北斜坡区石炭系取得油气勘探突破,展现出了良好的勘探前景。

油气成藏期次是油气地质评价中的一个关键问题,利用流体包裹体技术,并结合埋藏史分析、同位素定年分析来确定成藏期是较为常见的技术方法^[2-15]。早在 1980 年代,利用与金属矿化有关的

石英脉体中的流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄可估算成矿年代^[14],随后逐渐运用于油气充注、运移过程的判识^[15-18]。随着共聚焦扫描激光显微镜、高精度微量样品中色谱—质谱(生标化合物、同位素)等技术的进步,可准确测定烃包裹体的气液比^[19],并应用于古气候、古海水、古大气等方面的研究^[20],极大地拓展了在沉积—成岩中的运用^[21]。采用含烃类包裹体的热力学以及 PVT 模拟软件,可以估算油气藏的古温度、古压力^[22-23],进而用以判识烃类来源或充注期次^[24-27]。综上所述,综合运用多种新技术,使相对可靠的油气充注

期厘定成为可能。

前人对卡塔克隆起(包括隆起高部位及斜坡区)油气成藏期次曾进行过较详细的研究。例如,有作者强调了新近纪构造运动驱动了石炭系的成藏^[5];志留系有 2 期^[7,13]或 3 期成藏过程^[11];奥陶系有 2~3 期^[25-26]或 5 期的油气充注过程^[9-10]或 1 期天然气充注过程^[12]。不难看出,不同层系的成藏期有所差异,未能整体、综合性研究是争议产生的主要原因之一。本文根据卡塔克隆起斜坡区钻井二叠系—奥陶系的取心资料,综合应用流体包裹体特征分析、均一化温度测定、伊利石 K-Ar 同位素测年等技术手段,结合构造演化史、烃类演化史等方法,对斜坡区多层系油气成藏期进行综合研究,明确提出了奥陶系—志留系以及泥盆系—石炭系的油气成藏过程,深化了对本区油气成藏规律的认识。

1 样品采集与测试

本次研究的样品采自卡塔克隆起西北部的中 1、中 11、中 13 井,隆起东南斜坡区的中 4 井以及北斜坡区顺托果勒低隆起的顺 1 井(图 1)。主要包括了中下奥陶统的碳酸盐岩及其缝洞充填物、志留系—石炭系的碎屑岩以及裂隙充填物、石炭系—二叠系的玄武岩、安山岩及其脉体充填物等。流体包裹体分析是在核工业北京地质研究院

分析测试研究所流体包裹体实验室完成。在岩心样品成岩序列镜下观察和分析的基础上,寻找各期次缝洞充填物或裂隙脉中的原/次生包裹体,以及与烃类充注同期的流体包裹体,以确保获得准确成分信息和测温数据。具体步骤如下:首先对样品进行包裹体薄片的磨制,用荧光显微镜对包裹体薄片进行岩相学观察,寻找各期次发育的包裹体,记录成岩矿物名称、包裹体大小、包裹体类型等,并进行显微照相,利用 LinkamTHMS600 型冷热台对相关包裹体的均一化温度和冰点温度进行测定,并计算盐度、密度等相关参数。

伊利石 K-Ar 定年是在中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成。分析样品主要为志留系—石炭系中含烃类(沥青)的细砂岩或粉—细砂岩(少量含泥砾)。在黏土矿物分离时采用冷冻加热分离法,防止碎屑矿物的混入。先将黏土矿物分离出 3 个粒度(<0.1 μm, 0.1~0.5 μm, 0.5~1.0 μm),再进行 XRD、SEM 分析,得到不同粒级黏土样品的矿物组成。自生伊利石的分离提纯是分析中的关键,具体过程详见参考文献[6-7]。分析数据中排除碎屑矿物的影响途径有二:一是剔除碎屑矿物含量较高(>5%)的样品;二是建立 K-Ar 视年龄与样品中碎屑矿物(如长石)含量的相关关系,按这种关系外推至碎屑矿物含量为零时的 K-Ar 年龄为实际 K-Ar 年龄。利用原子发射光谱分析黏



图 1 塔里木盆地卡塔克隆起构造及采样井位置

Fig.1 Tectonic units and sampling well location in Katake Uplift, Tarim Basin

土组分中钾的含量;主要由伊利石组成的黏土组分 Ar 同位素分析在 MM1200 质谱仪上进行,采用 K-Ar 稀释法确定自生伊利石年龄^[6]。

2 成岩矿物及流体包裹体特征

在成岩过程中会形成一定数量的成岩矿物,在成岩矿物形成过程中会包裹一定数量的流体包裹体,研究包裹体特征以及与成岩矿物之间的关系,可以建立起成岩作用与油气成藏之间的关系。

2.1 奥陶系碳酸盐岩成岩矿物与包裹体特征

钻井揭示研究区奥陶系为一套碳酸盐岩沉积,主要有中下奥陶统鹰山组、中奥陶统一间房组、上奥陶统良里塔格组,中1井鹰山组在钻井测试过程中获得低产工业气流和凝析油。

手标本肉眼观察表明,在鹰山组白云岩粒间孔隙中有液态原油和沥青。液态原油主要分布在白云岩粒间孔隙中,呈蓝绿色荧光,为轻质原油。而沥青则有两种:一种是普通沥青,分布在裂缝中,呈黄绿色荧光;另一种是碳质沥青,分布在白云石晶间孔或者晶洞内,无荧光显示,为原油氧化后的残留物。

镜下观察表明,鹰山组白云岩存在3期成岩矿物,每一期成岩矿物中均有烃类包裹体,共3期油气包裹体。3期成岩矿物由内到外分别是中—细晶白云石、白云石次生加大、白云石粒间孔隙充填(胶结)亮晶方解石(图2),形成了3期烃类包裹体。

第一期包裹体分布在早期形成的白云化白云石矿物和白云石次生加大边中,呈密集而均匀状分布,丰度高,全部为液态烃类包裹体,颜色较深,为

灰褐色、褐色,呈浅(黄)绿色荧光。据此推测,进入奥陶系碳酸盐岩储层中的第一期油气为中质—重质油,成熟度比较低,为烃源岩低成熟—成熟阶段所生成的油气。

第二期包裹体分布在充填于孔隙和缝洞中的亮晶方解石胶结矿物中,丰度高,有液态、气液态和气态3种。液态烃包裹体颜色比较重,呈褐色、黑褐色;气态烃呈灰色,基本上无荧光显示。第二期包裹体以液态、气液态烃为主,占70%左右;气态烃则占30%左右。由此推测,进入储集层的第二期油气主要为轻质—中质油气,为烃源岩生烃高峰时的产物。

第三期包裹体多呈线、带状,发育在切过数个矿物颗粒及其加大边的后期构造裂缝中,在晚期亮晶方解石胶结物的微裂隙面中也有分布,全部为次生包裹体,发育丰度较高。第三期包裹体有液态、气液态和气态3种,以气液态烃为主,占65%;其次为气态烃,占30%;液态烃包裹体最少,约占5%。液态烃包裹体呈淡黄色或无色透明状,荧光为强的浅黄、黄绿或黄白色;气态烃包裹体呈深灰色。包裹体特征反映出第三期充注的油气类型为轻质油,是烃源岩高成熟阶段形成的产物。

根据成岩包裹体的产状、颜色和荧光等特征可以判断:储集层中肉眼观察到的碳质沥青与第一期油气包裹体属于同一期,为油气第一期充注的产物,是早期形成的油气遭受破坏的残留物;储集层中的普通沥青和第二期包裹体同期形成,为第二期油气充注成藏后遭受破坏的产物;储层中的轻质油气与第三期包裹体特征相似,是第三期油气充注产物,形成时间最晚,是现今油气藏的主体,与储层产出的油质一致或相似^[9-11]。

2.2 志留系碎屑岩成岩矿物与包裹体特征

志留系为一套碎屑岩沉积,代表性储层为塔塔埃塔格组碎屑岩,岩性主要为细砂岩、泥质中砂岩、泥质粉砂岩;物性较好,录井见到油气显示,与上覆的泥岩段构成一套好的储盖组合。

通过手标本观察,塔塔埃塔格组砂岩粒间可见黑色的碳质沥青和液态原油。碳质沥青多黄铁矿化,呈碳黑色,推测其为早期油气充注遭到破坏后的产物;液态原油分布在粒间,显示强黄色、浅黄色荧光,粒间有方解石胶结。

镜下观察表明,碎屑岩储层中发育3期成岩矿物与成岩胶结作用,分别是早期方解石胶结、石英次生加大和晚期亮晶方解石胶结(图3a);成岩胶结矿物发育程度与含油气性呈互为消长关系。在

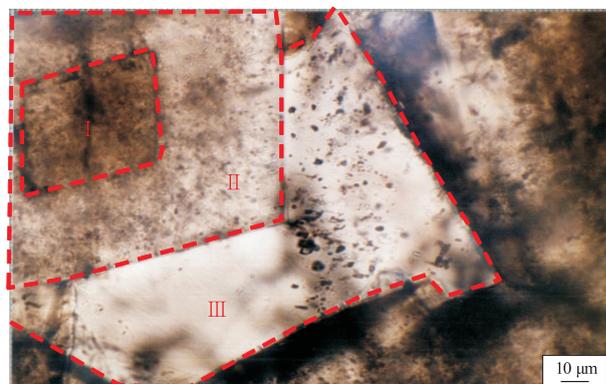


图2 塔里木盆地卡塔克隆起中下奥陶统鹰山组白云岩内3期成岩矿物及包裹体

I. 第一期早期白云石化白云石; II. 第二期白云石次生加大; III. 第三期亮晶方解石胶结

Fig.2 Three stages of diagenetic minerals and inclusions in dolomites from Middle and Lower Ordovician Yingshan Formation, Katake Uplift, Tarim Basin

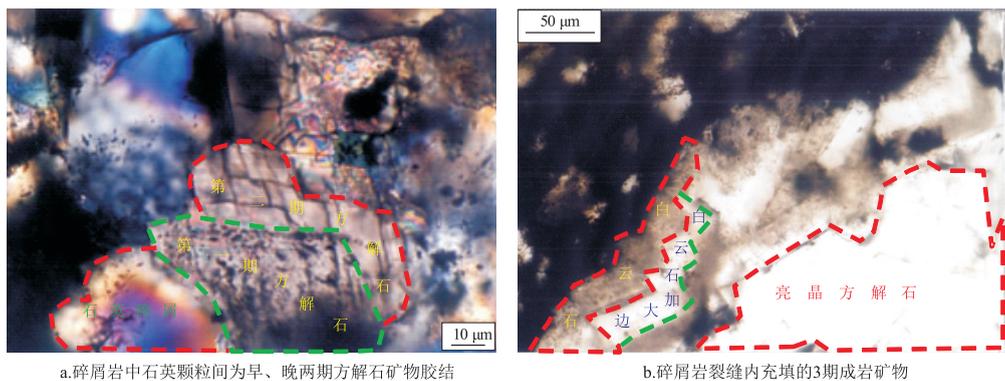


图 3 塔里木盆地卡塔克隆起志留系塔塔埃尔塔格组成岩矿物及包裹体

Fig.3 Diagenetic minerals and inclusions in Silurian Tataertage Formation, Katake Uplift, Tarim Basin

切穿碎屑岩颗粒的构造裂缝中,同样发育 3 期成岩矿物,分别是早期蚀变白云石、白云石次生加大和亮晶方解石(图 3b)。

成岩矿物中主要发育 2 期油气包裹体。第一期包裹体发育在早期方解石胶结物和石英次生加大边中,成群、成带密集而均匀分布,发育丰度极高,为原生液态烃包裹体,颜色呈黑褐色。说明这期油气充注强度大,充注的油气油质比较重。第二期包裹体分布在亮晶方解石胶结物中,在切穿石英次生加大边的微裂隙中也有分布,全部为次生包裹体,发育丰度较低;主要为液烃和气液烃包裹体,颜色浅褐黄色或黄色,显示浅蓝绿色、浅黄色荧光。说明晚期油气充注主要为轻质油,是生油岩高成熟阶段的产物。

根据沥青、原油的产状可以判断,碳质沥青充注的时间较早,发生在早成岩期,以碳质沥青为代表的早期油气充注在储层的成岩矿物内,检测不到其相应的烃类包裹体;而在成岩矿物内发现的 2 期油气包裹体,实际上是代表了储层第二期和第三期的油气充注。塔塔埃尔塔格组油气成藏与成岩作用的先后关系可以表述为:第一期油气充注→早期方解石或白云石充填→第二期油气充注→石英或白云石加大→晚期亮晶方解石充填→第三期油气充注。

2.3 泥盆系—二叠系碎屑岩及火成岩成岩矿物与包裹体特征

泥盆系—二叠系沉积物有碎屑岩、碳酸盐岩和火成岩。

碎屑岩中具有代表性的储层是东河塘组(D₃d)砂岩,在该区多口井综合解释为油层。在未解方解石胶结的砂岩颗粒间发现了大量的稀油及沥青,但粒间孔隙中荧光显示微弱,表明后期无轻质油气的进入。镜下可见到 1 期烃类包裹体,发育

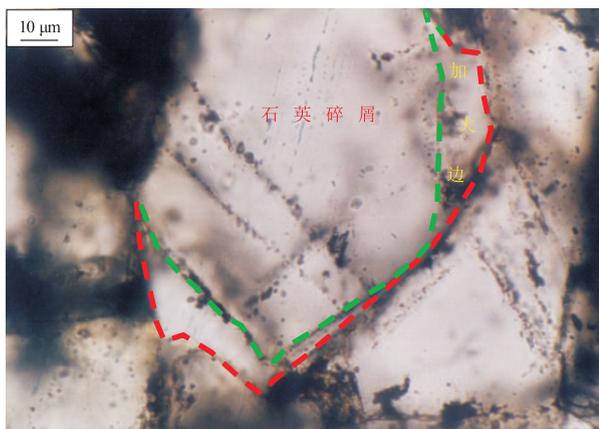


图 4 塔里木盆地卡塔克隆起泥盆系东河塘组砂岩中沿未切穿尘埃线的微裂隙分布的液烃包裹体

Fig.4 Fluid hydrocarbon inclusions distributed along microcracks that do not cut through the dust line in sandstones, Devonian Donghetang Formation, Katake Uplift, Tarim Basin

丰度中等,主要分布在石英次生加大边的尘埃线附近;在未切穿加大边尘埃线的石英颗粒内的微裂隙中也有分布,为液烃及气液烃包裹体,呈黑褐色;在石英次生加大边尘埃线附近还有大量的黑褐色有机质吸附体(图 4)。

包裹体特征表明,东河塘组砂岩在成岩早期曾形成过含油饱和度较高的中—轻质古油藏,目前所发现的稀油及沥青均在石英次生加大和方解石胶结之前形成。该中—轻质古油藏的成藏及泄漏时间应该早于石英中后期加大,而晚于早期方解石胶结。

东河塘组砂岩之上的石炭系巴楚组(C₁b)砂泥岩段内的砂岩薄层中,同样发育成岩矿物和包裹体,不同的是这套地层发育 2 期包裹体。第一期包裹体与东河塘组砂岩里的特征相似,丰度也相似。第二期包裹体则呈线、带状分布在早、晚 2 期方解石胶结物内,在切穿石英次生加大边的微裂隙中也有分布,发育丰度极高,颜色多呈浅黄色及黄褐色,

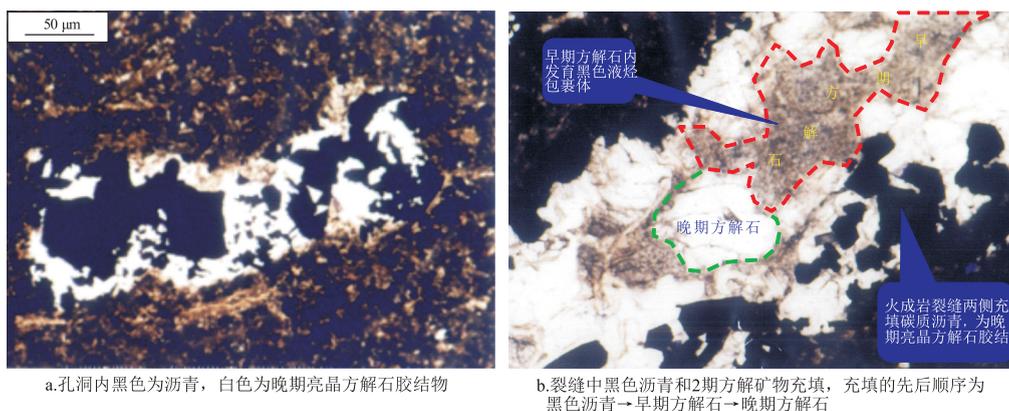


图5 塔里木盆地卡塔克隆起石炭系卡拉沙依组火成岩中充填的沥青及方解石胶结物

Fig.5 Bitumen and calcite cements filled in igneous rocks in Carboniferous Kalashayi Formation, Katake Uplift, Tarim Basin

显示浅黄色及褐色荧光。其中,液烃包裹体约占40%,气液烃包裹体约占60%,说明该套地层与东河塘组砂岩相比,在成岩期后又有一次中—轻质的油气充注。

具有代表性的火成岩储层为石炭系卡拉沙依组火成岩,岩性为深灰色玄武岩、安山岩。火成岩中缝、洞十分发育(图5a),缝、洞内有碳质沥青充填,无荧光显示,大部分沥青充填物被晚期亮晶方解石所胶结,部分沥青被黄铁矿交代。表明卡拉沙依组火成岩内曾形成过含油饱和度较高的重—稠油古油藏。

卡拉沙依组火成岩缝、洞内充填的成岩矿物有2期(图5b):第一期矿物为中—轻度蚀变的方解石,方解石内发育灰褐色、黑褐色的液烃包裹体,均匀密集分布($GOI=100\%$),无荧光显示,与古油藏同期形成。第二期矿物为亮晶方解石、石英及玉髓。该期矿物内油气包裹体十分稀少,偶见灰色气烃包裹体,表明卡拉沙依组火成岩在晚期存在少量轻质油气充注。

在卡拉沙依组之上为巨厚的二叠系火成岩,在二叠系火成岩中同样存在2期成岩矿物和2期包裹体。与卡拉沙依组不同的是,第二期包裹体发育丰度极高,液烃包裹体约占30%,气液烃包裹体约占60%,气烃包裹体约占10%,反映晚期充注原油主要以中质—轻质油为主。2期包裹体的存在说明,在火成岩形成后曾发生过2次规模较大的油气充注作用,尤其是二叠系火成岩在晚期还存在轻质油气充注过程。

3 含烃盐水包裹体均一化温度与油气成藏期

与油气包裹体伴生的含烃盐水包裹体的均一

化温度与热埋藏史相结合,可确定油气成藏的期次^[2,4]。本文用于测温的包裹体大小一般为3~17 μm,气液比小于等于8%,均为规则形状的含烃盐水包裹体,避免了由于包裹体的不均一捕获所造成的包裹体测温的泄漏问题^[2,4],从而保证了包裹体测温的可靠性。

3.1 奥陶系碳酸盐岩包裹体均一化温度与成藏期

由于采样原因,在研究奥陶系碳酸盐岩成藏期时,选择鹰山组之上的中奥陶统一间房组(O_2yj)碳酸盐岩作为均一温度测试对象,二者层位相邻,岩性与包裹体特征相似。在中1井一间房组碳酸盐岩储层中共计测试均一化温度109个,盐度20个。其中,晶洞方解石测温80个,亮晶方解石测温23个,白云石加大边中测温6个(图6)。

测温资料表明,一间房组成岩矿物内包裹体均一化温度大致可以划分为2组:第一组温度为90~100 °C,主要是晶洞方解石和亮晶方解石胶结物中的包裹体;第二组温度为120~130 °C,主要是亮晶

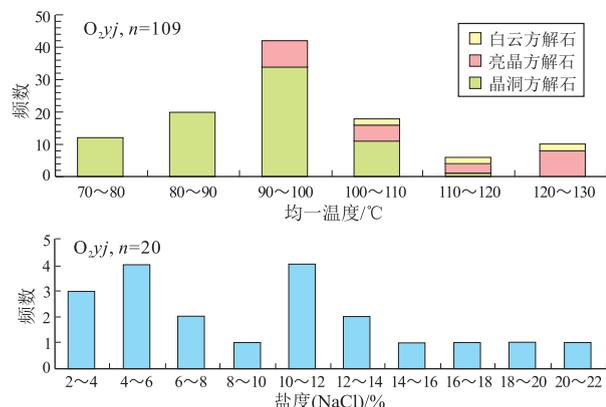


图6 塔里木盆地卡塔克隆起中1井中奥陶统一间房组均一化温度、盐度分布

Fig.6 Homogenization temperatures and salinity distribution in Middle Ordovician Yijianfang Formation, well Zhong 1, Katake Uplift, Tarim Basin

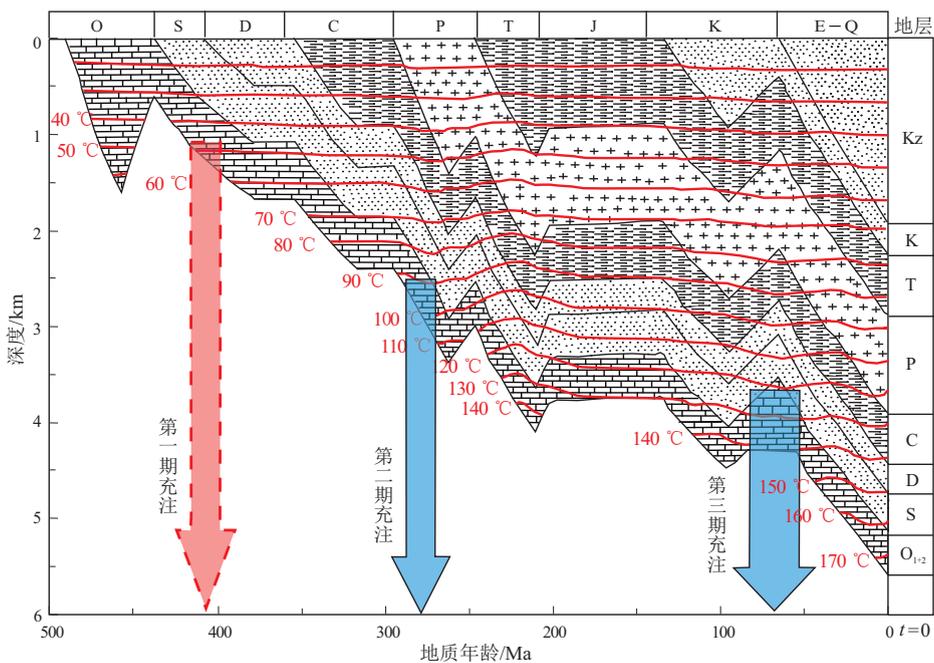


图 7 塔里木盆地卡塔克隆起中 1 井埋藏史及油气充注年代示意

Fig.7 Geothermal gradients and burial history of well Zhongyi, Katake Uplift, Tarim Basin

方解胶结物和白云石加大边里的包裹体。包裹体盐度分布在 2.67% ~ 22.51% 之间,也可以分为 2 组:第一组盐度集中分布在 3.5% ~ 6.5 %,对应温度为 90~100 °C;第二组盐度集中分布在 10.1% ~ 13.5%,对应温度为 120~130 °C。

奥陶系存在 3 期烃类流体包裹体,由于第一期油气包裹体发育在早期中一细晶白云岩矿物内,与其共生的含烃盐水包裹体多为纯液态包裹体,个体较小,无法获得准确的显微测温数据,因此,均一化温度的统计结果基本反映了第二期和第三期油气充注形成的包裹体的地层温度。

根据均一化温度统计结果,结合中 1 井奥陶系埋藏史和古地温史(图 7),推测第二期油气包裹体(均一温度为 90~100 °C)形成于海西晚期;第三期油气包裹体(均一温度为 120~130 °C)形成于燕山末期—喜马拉雅期。

根据镜下观测到的第一期油气包裹体形成时间,结合卡塔克隆起构造演化史推测,并综合卡塔克隆起周缘烃源岩热演化^[1]以及轮南地区奥陶系成藏年代研究成果^[25-26],推测第一期油气包裹体形成时间为加里东晚期—海西早期之前。

3.2 志留系碎屑岩包裹体均一化温度与成藏期

在志留系塔塔埃尔塔格组(S_{1t})砂岩中测试均一化温度 68 个,盐度 9 个,其中石英碎屑测温 47 个,方解石胶结物测温 21 个(图 8)。均一化温度可以大致划分为 2 组:第一组均一化温度为 90~

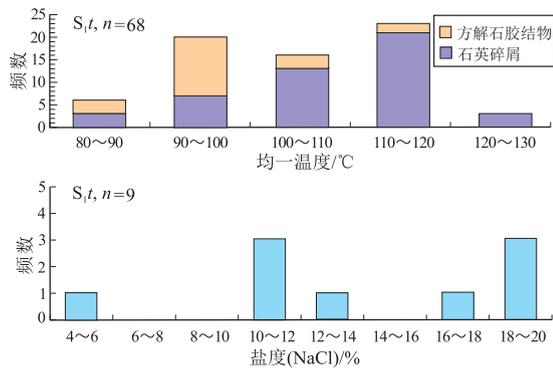


图 8 塔里木盆地卡塔克隆起中 1 井区志留系塔塔埃尔塔格组均一化温度、盐度分布

Fig.8 Homogeneous temperatures and salinity of Silurian Tataertage Formation, well Zhong 1 block, Katake Uplift, Tarim Basin

100 °C,代表了第一期油气成藏的温度;第二组包裹体均一化温度集中分布在 110~120 °C,代表了第二期油气成藏的温度。包裹体盐度分布也大致可分为 2 组:第一组集中分布在 10% ~ 12%;第二组集中分布在 18% ~ 20%。

结合中 1 井志留系埋藏史和古地温史(图 7),推测塔塔埃尔塔格组第一期油气包裹体(均一温度为 90~100 °C)的捕获期为海西晚期;第二期油气包裹体(均一温度 110~120 °C)的形成时间为燕山末期—喜马拉雅期。因志留系中的烃类包裹体并不反映以碳质沥青为代表的早期油气充注,推测塔塔埃尔塔格组最早期的油气充注应发生在加里

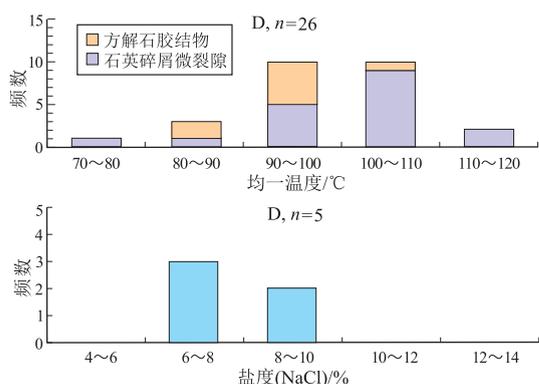


图 9 塔里木盆地卡塔克隆起中 1 井泥盆系克孜尔塔格组均一化温度、盐度分布

Fig.9 Homogeneous temperatures and salinity of Devonian Kiziltag Formation, well Zhong 1 block, Katake Uplift, Tarim Basin

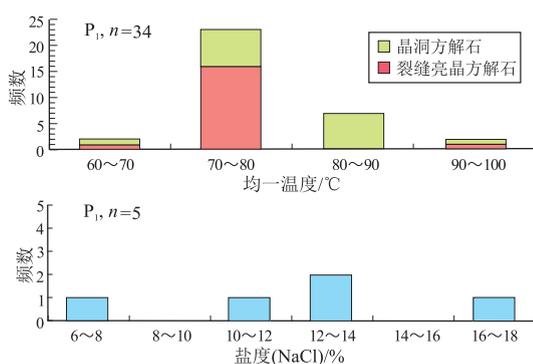


图 10 塔里木盆地卡塔克隆起中 1 井石炭—二叠系火山岩缝洞方解石均一化温度、盐度分布

Fig.10 Homogeneous temperatures and salinity of calcites in volcanic fractures and caves in Carboniferous and Permian, well Zhong 1 block, Katake Uplift, Tarim Basin

东晚期—海西早期。

3.3 泥盆系碎屑岩包裹体均一化温度与成藏期

泥盆系克孜尔塔格组砂岩储层中共计测试均一化温度 26 个,盐度 5 个,其中石英碎屑岩微裂缝测温 18 个,方解石胶结物测温 8 个(图 9)。均一化温度分布可以大致划分为 2 组:第一组均一化温度集中分布在 90~100 °C,代表了泥盆系第一期油气成藏的温度;第二组均一温度集中分布在 100~110 °C,对应的盐度集中在 7.17%~9.86%,代表了第二期油气成藏的温度和盐度。

结合中 1 井泥盆系克孜尔塔格组埋藏史和古地温史(图 7),推测第一期油气包裹体(均一温度 90~100 °C)形成于印支期末;第二期油气包裹体(均一温度 100~110 °C)形成于喜马拉雅期。

3.4 石炭—二叠系火山岩储层包裹体均一化温度和盐度分布特征

石炭—二叠系火山岩内主要存在 2 期烃类流体包裹体,早期形成的烃类包裹体多赋存于孔洞早期充填的方解石内,晚期形成的包裹体多赋存于孔洞晚期充填的亮晶方解石微裂隙内。选择下二叠统火成岩,测试均一化温度 34 个,其中裂缝亮晶方解石测温 18 个,晶洞方解石测温 16 个(图 10)。由统计结果可见,各种矿物内与油气包裹体共生含烃盐水包裹体的均一化温度可以分为 2 组:第一组温度集中在 70~80 °C,代表了早期油气成藏的温度;第二组温度集中在 80~90 °C,代表了晚期油气成藏的温度。下二叠统火山岩储层包裹体中盐度在 6.16%~17.26%间均有分布,也表明了存在多期流体活动。

对比石炭—二叠系埋藏史和古地温史(图 7),推测早期油气包裹体(均一温度 70~80 °C)主要形成于印支期末;晚期油气包裹体(均一温度 80~

90 °C)主要形成于喜马拉雅期。

4 自生伊利石 K-Ar 同位素测年

储层自生伊利石年代记录了油气进入储层的最早时间。本次研究测试了卡塔克隆起西北部斜坡区的中 1 井(S_1t 、D、C)、中 11 井(D_3d)、中 13 井(S_1t),东部斜坡区的中 4 井(C_1b),北部斜坡区的顺 1 井(S_1t)和隆起高部位的塔中 4 井(D_3d)储集层中自生伊利石 K-Ar 同位素的地质年龄(表 1)。

测试结果表明,塔中地区志留系、泥盆系和石炭系储层自生伊利石 K-Ar 年龄多介于 260~170 Ma,表明早期烃类流体集中充注储层的时间发生在晚二叠世—中侏罗世。其中,石炭系卡拉沙依组砂岩储集层中自生伊利石 K-Ar 年龄为(230.2±3.3) Ma,巴楚组砂岩储集层中的年龄为(222.4±3.2)~(211.2±3.1) Ma,表明烃类最早充注石炭系储集层的时间在晚三叠世。

泥盆系东河塘组砂岩储层自生伊利石 K-Ar 年龄在 185.3~178.0 Ma 之间,为中侏罗世,但隆起高部位的塔中 4 井为 260.5~231.7 Ma,表明同一时代地层不同部位成藏时间不同,成藏时间跨度比较大。

表 1 塔里木盆地卡塔克隆起斜坡区砂岩储层中自生伊利石 K-Ar 年龄测试数据
Table 1 K-Ar dating of authigenic illites in sandstones on the slope of Katake Uplift, Tarim Basin

井位	层位	K-Ar 年龄/Ma
中 1、中 11、中 13 井	石炭系卡拉沙依组	230.2±3.3
	石炭系巴楚组	211.2±3.1
	泥盆系东河塘组	185.3~178.0
	志留系塔塔埃尔塔格组	232.8~174.9
中 4 井	石炭系巴楚组	222.4±3.2
顺 1 井	志留系塔塔埃尔塔格组	203.1±3.5
塔中 4 井	泥盆系东河塘组	260.5~231.7

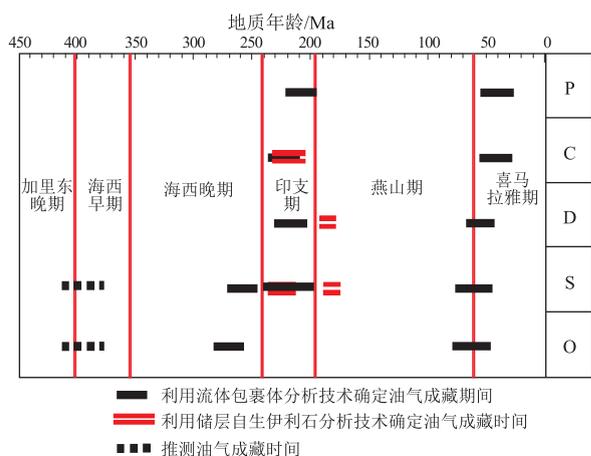


图 11 塔里木盆地卡塔克隆起斜坡区(顺托果勒)不同层系油气成藏年代

Fig.11 Oil and gas accumulation ages of different strata on the slope of Katake Uplift, Tarim Basin

志留系塔塔埃尔塔格组含油砂岩自生伊利石 K-Ar 年龄介于 232.8~174.9 Ma 之间, 相当于中三叠世—中侏罗世。

5 油气成藏时间综合分析

利用流体包裹体特征、均一化温度及伊利石测年等资料综合判断(图 11), 斜坡区存在 3 期油气充注: 第一期成藏时间为加里东晚期(410~370 Ma); 第二期成藏时间为海西晚期—印支期(280~175 Ma); 第三期成藏时间为燕山晚期—喜马拉雅期(80~23 Ma)。对比包裹体和伊利石测年这 2 种研究方法, 石炭系储层二者成藏时间较吻合, 而泥盆系和志留系储层, 油气包裹体确定油气成藏的时间稍早于储层自生伊利石同位素地质年龄, 但总体在误差范围之内。

6 结论

(1) 研究区奥陶系、志留系储层存在 3 期油气充注。第一期充注发生在沉积成岩早期, 推测时间为 410~370 Ma(相当于加里东晚期), 对应的油气包裹体发育在早期的重结晶矿物或缝/洞早期充填的矿物内, 多为黑色液烃包裹体。该时期储层主要接收了烃源岩低成熟—成熟阶段形成的油气, 油气分布广泛, 但普遍遭受破坏。第二期充注发生在成岩中—晚期, 成藏时间集中在 280~180 Ma(相当于海西晚期—印支期), 对应的油气包裹体发育在早期成岩矿物的加大边中, 多为液烃或气液烃包裹体, 局部层段可见少量气烃包裹体, 无荧光显示, 储层主要接收了烃源岩成熟期—高成熟阶段形成的油气。该期油气形成后发生了调整改造, 在裂缝内

残留低反射率稀油沥青。第三期充注发生在成岩晚期—成岩期后, 成藏时间集中在 80~50 Ma(相当于燕山晚期—喜马拉雅期), 对应的油气包裹体发育在储层晚期充填的矿物内或发育在切穿不同世代成岩矿物的微裂隙内, 多为气液烃或气烃包裹体, 显示较强的淡黄色或浅蓝色荧光, 储层主要接收了烃源岩高成熟阶段—生气阶段生成的油气, 部分为储层早期成藏油气的重新调整和分配。

(2) 研究区泥盆系、石炭系及二叠系储层存在 2 期油气充注。第一期充注发生在成岩早—中期, 成藏时间集中 240~175 Ma(相当于印支期), 主要接收了成熟阶段形成的油气, 对应的油气包裹体主要发育在早期胶结物内或矿物次生加大之前, 多为液烃或气液烃包裹体, 无荧光显示。该期油气成藏后发生了调整作用, 在局部层段形成广泛分布的沥青。第二期油气充注发生在成岩期后, 成藏时间集中在 65~23 Ma(喜马拉雅期), 主要接收了高成熟阶段生成的轻质油气, 对应的油气包裹体发育在各种成岩矿物内或沿切穿不同世代成岩矿物的微裂隙内, 多为气液烃包裹体, 显示较强的淡黄色或浅蓝色荧光。

参考文献:

- [1] 韩剑发, 张海祖, 于红枫, 等. 塔中隆起海相碳酸盐岩大型凝析气田成藏特征与勘探[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 769-782.
HAN Jianfa, ZHANG Haizhu, YU Hongfeng, et al. Hydrocarbon accumulation characteristic and exploration on large marine carbonate condensate field in Tazhong Uplift[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 769-782.
- [2] 施继锡, 李本超, 傅家谟, 等. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. 中国科学(B辑), 1987, 17(3): 318-326.
SHI Jixi, LI Benchao, FU Jiemo, et al. Organic inclusions and their relation to oil and gas[J]. Science China B, 1987, 17(3): 318-326.
- [3] LIEWIG N, CLANER N, SOMMCR F. Rb-Sr and K-Ar dating of clay diagenesis in Jurassic sandstone oil reservoir, North Sea[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71: 467-474.
- [4] 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉, 等. 应用储层流体包裹体信息研究天然气藏的成藏时间[J]. 科学通报, 2002, 47(12): 957-960.
XIAO Xianming, LIU Zufu, LIU Dehan, et al. Study of the timing of natural gas reservoirs via application of the reservoir fluid inclusions data[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957-960.
- [5] 刘银河. 新构造运动对塔中 45—满西 1 区块石炭系晚期成藏的作用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 180-185.
LIU Yinhe. Effects of neotectonism on late hydrocarbon accumulation in Carboniferous in Tazhong 45-Manxi 1 block[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 180-185.
- [6] 王飞宇, 郝石生, 雷加锦. 砂岩储层中自生伊利石定年分析油气藏形成期[J]. 石油学报, 1998, 19(2): 40-43.

- WANG Feiyu,HAO Shisheng,LEI Jiajin.The isotopic dating of authigenic illite and timing of hydrocarbon emplacement in sandstone reservoir[J].Acta Petrolei Sinica,1998,19(2):40-43.
- [7] 张有瑜,HORST Zwingmann,刘可禹,等.塔中隆起志留系沥青砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨[J].石油与天然气地质,2008,28(2):166-174.
- ZHANG Youyu,HORST Zwingmann,LIU Keyu,et al.Ar isotopic dating of authigenic illite and its application to the investigation of hydrocarbon accumulation history of the Silurian bituminous and stone reservoirs in the Tazhong uplift,Tarim Basin[J].Oil & Gas Geology,2008,28(2):166-174.
- [8] 徐佑德,王林,刘子超,等.车排子地区火山岩油藏流体包裹体特征与成藏期次[J].断块油气田,2020,27(5):545-550.
- XU Youde,WANG Lin,LIU Zichao,et al.Characteristics of fluid inclusions and time frame of hydrocarbon accumulation for volcanic reservoirs in Chepaizi Uplift[J].Fault-Block Oil and Gas Field, 2020,27(5):545-550.
- [9] 陈瑞银,赵文智,王红军,等.塔中地区奥陶系油气充注期次的流体包裹体证据[J].石油勘探与开发,2010,37(5):537-542.
- CHEN Ruiyin,ZHAO Wenzhi,WANG Hongjun,et al.Fluid inclusion evidence for charge stages of hydrocarbon in the Ordovician traps of Tazhong area,Tarim Basin[J].Petroleum Exploration and Development,2010,37(5):537-542.
- [10] 张翔,田隆,邢永亮,等.塔中地区奥陶系储层烃包裹体特征及成藏分析[J].岩石学报,2011,27(5):1548-1556.
- ZHANG Nai,TIAN Long,XIN Yongliang,et al.Characteristic of hydrocarbon fluid inclusions and analysis of reservoir formation in Ordovician reservoir of Tazhong area,Tarim Basin[J].Acta Petrologica Sinica,2011,27(5):1548-1556.
- [11] 鲁雪松,宋岩,柳少波,等.流体包裹体精细分析在塔中志留系油气成藏研究中的应用[J].中国石油大学学报(自然科学版),2012,36(4):45-51.
- LU Xuesong,SONG Yan,LIU Shaobo,et al.Detailed analysis of fluid inclusions and its application in accumulation history research on Silurian reservoirs in Tazhong area,Tarim Basin[J].Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(4):45-51.
- [12] 王铁冠,宋到福,李美俊,等.塔里木盆地顺南—古城地区奥陶系鹰山组天然气气源与深层天然气勘探前景[J].石油与天然气地质,2014,35(6):753-762.
- WANG Tieguan,SONG Daofu,LI Meijun,et al.Natural gas source and deep gas exploration potential of the Ordovician Yingshan Formation in the Shunnan—Gucheng region,Tarim Basin[J].Oil & Gas Geology,2014,35(6):753-762.
- [13] 池林贤,张志遥,朱光有,等.塔里木盆地塔中志留系油藏两期成藏的分子地球化学证据[J].天然气地球科学,2020,31(4):471-482.
- CHI Linxian,ZHANG Zhiyao,ZHU Guangyou,et al.The molecular geochemical evidence of two accumulation stages of the Silurian reservoirs in Tazhong Uplift,Tarim Basin[J].Natural Gas Geoscience,2020,31(4):471-482.
- [14] SHEPHERD T J,DARBYSHIRE D P F.Fluid inclusion Rb-Sr isochrons for dating mineral deposits[J].Nature,1981,290(5807):578-579.
- [15] McLIMANS R K.The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs[J].Applied Geochemistry,1987,2:585-603.
- [16] BODNAR R J.Petroleum migration in the Miocene Monterey Formation, California, USA: constraints from fluid-inclusion studies[J].Mineralogical Magazine,1990,54:295-304.
- [17] KARLSEN D A,NEDKVITNE T,LARTER S R,et al.Hydrocarbon composition of authigenic inclusions:application to elucidation of petroleum reservoir filling history[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1993,57:3641-3659.
- [18] ZHANG Wenhui,ZHANG Zhijian,MING Houli,et al.A study on organic inclusions in elastic reservoir rocks and their application to the assessment of oil and gas accumulations[J].Chinese Journal of Geochemistry,1996,15(3):249-257.
- [19] THIÉRY R,PIRONON J,WALGENWITZ F,et al.PIT (Petroleum Inclusion Thermodynamic): a new modeling tool for the characterization of hydrocarbon fluid inclusions from volumetric and microthermometric measurements[J].Journal of Geochemical Exploration,2000,69/70:701-704.
- [20] YANG C,HUTCHEON I,KROUSE H R.Fluid inclusion and stable isotopic studies of thermochemical sulphate reduction from Burnt Timbre and Crossfield East gas fields in Alberta, Canada[J].Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2001, 49(1):149-164.
- [21] GOLDSTEIN R H.Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J].Lithos,2001,55(1):159-193.
- [22] MI Jingkui,XIAO Xianming,LIU Dehan,et al.Determination of paleo-pressure for a natural gas pool formation based on PVT characteristics of fluid inclusions in reservoir rocks[J].Science China(Earth Sciences),2004,47(6):507-513.
- [23] BOURDET J,PIRONON J,LEVERASSE G,et al.Petroleum type determination through homogenization temperature and vapour volume fraction measurements in fluid inclusions[J].Geofluids, 2010,8(1):46-59.
- [24] VOLK H,DUTKIEWICZ A,GEORGE S,et al.Oil migration in the Middle Proterozoic Roper Superbasin Australia: evidence from oil inclusions and their geochemistries[J].Journal of Geochemical Exploration,2003,78/79:437-441.
- [25] WANG Qinghua,XIAO Xianming,XIAO Zhongyao,et al.Reservoir petroleum inclusion GOR characteristics and geological significance from the Lunnan Low Uplift of the Tarim Basin[J].Science Bulletin,2004,49(1):27-32.
- [26] GONG S,GEORGE S C,VOLK H,et al.Petroleum charge history in the Lunnan Low Uplift,Tarim Basin,China:evidence from oil-bearing fluid inclusions[J].Organic Geochemistry, 2007, 38(8): 1341-1355.
- [27] LI Sumei,PANG Xiongqi,YANG Haijun,et al.Petroleum source and fluid charge models in the Tazhong Uplift,Tarim Basin:new insights from geochemical and fluid inclusion data[J].Journal of Geochemical Exploration,2008,101(1):61-61.