

普光气藏储层流体特征及其演化过程

傅太宇¹, 李葆华¹, 顾雪祥², 付绍洪³, 徐仕海¹, 董晓燕¹, 许龙¹, 吴大伟¹

(1. 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源
国家重点实验室, 北京 100083; 3. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

摘要:为了研究普光气藏储层流体的演化过程,对气藏包裹体进行了显微观察和显微测温研究。结果表明:普光气藏储层流体包裹体可划分为3期,即成岩早期(第Ⅰ期),成岩晚期早阶段(第Ⅱ期)和成岩晚期晚阶段(第Ⅲ期)。第Ⅰ期以气液水包裹体和液相水包裹体为主,均一温度为85~117℃,盐度(w_B)为15.55%~20.43%,属于浅埋藏环境;第Ⅱ期包裹体类型有含沥青气相烃包裹体、残余沥青包裹体和气液水包裹体,含沥青气相烃包裹体及残余沥青包裹体是由液相烃包裹体、气-液烃包裹体热裂解而成的,该期包裹体均一温度为116~168℃,盐度为4.94%~19.95%,为中-深埋藏环境;第Ⅲ期包裹体主要为气相烃、烃-水包裹体和气液水包裹体,均一温度为133~250℃,盐度为4.48%~21.05%,属深埋藏环境。从第Ⅰ期到第Ⅲ期随着埋深的增加,均一温度依次升高,盐度大致呈降低的趋势。

关键词:普光气藏;包裹体岩相学特征;显微测温;储层流体演化过程

中图分类号:TE311+.1

文献标志码:A

文章编号:1000-7849(2016)01-0134-06

普光气藏是由中国石化南方勘探开发分公司于2003年在四川宣汉达县地区发现的。气藏圈闭面积50 km²,累计探明储量达到2 783 × 10⁸ m³[1],是目前在四川盆地发现的埋藏最深、储层最厚、丰度最高、规模最大的气藏[2]。前人对普光气藏地质特征[3]、沉积环境[4]、地球化学特征[5]、成藏作用及成因[6-10]、高密度甲烷包裹体类型[11-12]等做了大量研究,但针对普光气藏储层中流体特征及演化过程的研究尚未见到具体报道。

因此笔者将通过对普光地区上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组储层流体包裹体显微观察、对比和显微温度测定,划分流体演化期次,分析流体演化过程,为该区油气藏研究提供参考资料。

1 气藏地质特征

普光气藏地表出露中侏罗统沙溪庙组砂岩、泥岩及页岩地层,向地下深部依次为中侏罗统千佛岩组砂岩、泥岩,下侏罗统自流井组灰岩、页岩、粉砂岩、砂岩,上三叠统须家河组砂岩、粉砂岩、炭质页岩和中下三叠统(雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组)碳酸盐岩,上二叠统长兴组灰岩、吴家坪组含硅质条带或燧石团块灰岩,下二叠统茅口组和栖霞组灰岩、梁山

组炭质页岩,志留系砂页岩等地层[10]。上志留统、泥盆系全部缺失,石炭系仅残留有中石炭统黄龙组[13]。

普光构造处于东岳寨-普光构造带的北部,整体表现为西南高北东低、西翼陡东翼缓、与逆冲断层有关的大NE走向的大型长轴断背斜型构造(图1)。构造西侧受NE向逆冲断层控制,北侧与东侧受构造线控制,南部受沉积相变带控制,是一受构造与相变带共同控制的构造-岩性复合型圈闭。

普光气藏烃源岩主要为二叠系泥质岩和碳酸盐岩,其次是下志留统黑色页岩[15]。普光气藏储集层主要发育于飞仙关组一段至三段及长兴组上部。飞仙关组岩性为溶孔较发育的白云岩、砂屑白云岩、鲕粒白云岩、含砾屑鲕粒白云岩及糖粒状白云岩。长兴组上部主要岩性为灰色泥-微晶白云岩夹泥晶灰岩、白云质灰岩[16]。储集空间类型为孔隙-溶孔型、孔隙-裂缝型(或裂缝-孔隙型)[15]。下三叠统嘉陵江组及其上的中三叠统雷口坡组膏盐层发育较好,与下三叠统飞仙关组四段共同构成了良好的区域性盖层[3,17]。根据成岩和自生矿物组合、分布、组构特征及生成顺序等可将普光气藏储层成岩阶段划分为:成岩早期、成岩晚期早阶段、成岩晚期晚阶段。

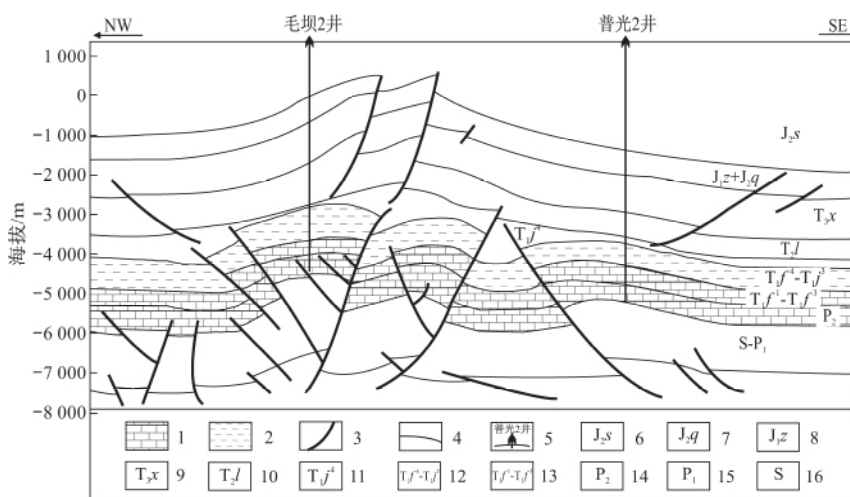
收稿日期:2015-04-30

编辑:禹华珍

基金项目:国家自然科学基金项目(41372094)

作者简介:傅太宇(1990—),女,现正攻读矿物学、岩石学、矿床学专业硕士学位,主要从事矿床学与区域成矿学研究。E-mail: futaiyu2011@163.com

通信作者:李葆华(1960—),男,教授,主要从事流体包裹体研究。E-mail:libaohua@cdut.edu.cn



1. 灰岩、白云岩储层;2. 主要盖层;3. 断层;4. 地质界线;5. 钻井及编号;6. 中侏罗统沙溪庙组砂岩、泥岩;7. 中侏罗统干佛岩组砂岩、粉砂岩、泥岩;8. 下侏罗统自流井组灰岩、页岩、粉砂岩、砂岩;9. 上三叠统须家河组砂岩、粉砂岩、炭质页岩;10. 中三叠统雷口坡组碳酸盐岩;11. 下三叠统嘉陵江组四段碳酸盐岩夹膏岩层;12. 下三叠统飞仙关组四段至嘉陵江组三段,底部为碳酸盐岩、泥质灰岩与灰质泥岩互层,顶部为碳酸盐岩偶夹膏岩层;13. 下三叠统飞仙关组一段至三段亮晶鲕粒灰岩、粉一细晶白云岩、亮晶鲕粒白云岩;14. 上二叠统长兴组和吴家坪组灰岩;15. 下二叠统茅口组和栖霞组灰岩;16. 志留系砂页岩

图1 普光气藏构造剖面图(据文献[10,14]修改)

Fig.1 Structure profile of Puguang gas reservoir

2 样品采集与测试

样品采自普光 6 井(采样深度为 5 314 m)、8 井(采样深度为 5 578 m)和 9 井(采样深度为 6 117 m),位于普光气藏上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组储层中。采集有 148 个白云岩、白云质灰岩及灰岩中溶孔、溶洞、裂隙充填的方解石、石英样品以及方解石脉样品。

显微观察和显微测温工作均在成都理工大学资源勘查工程系流体包裹体实验室完成。包裹体观察使用仪器为 Nikon ECLIPSE 50i POL 偏光显微镜,目镜 10×,物镜 10×,20×,40×,50×。包裹体测温使用 Nikon THMSG600 型冷热台,技术参数为:铂电阻传感器,测温范围-196~600℃,温度显示 0.1℃,控制稳定温度±0.1℃。仪器标定采用标准物质蔗糖、KNO₃、K₂CrO₃、CCl₄ 以及人工配制的 NaCl 标准溶液。

3 包裹体岩相学特征

本区包裹体主要产于上二叠统长兴组、下三叠统飞仙关组碳酸盐岩的溶孔裂隙充填物(方解石、石英)中。包裹体数量较多,在主矿物中呈星点状、星散状、筛孔状、孤立状等随机分布。形态有菱形、长方形、椭圆形、长柱状、三角形、多边形等。流体包裹体最小者<3 μm,最大者 30 μm,一般为 5~20 μm。包裹体类型按室温(25℃)下的成分相态特征,可分

为水包裹体、烃-水包裹体和烃类包裹体三大类。

其中,烃类包裹体又分为气相烃包裹体、沥青包裹体和含沥青气相烃包裹体 3 类。气相烃包裹体,在透射单偏光下呈灰色或深灰色。这类包裹体因具有中心厚、边缘薄的特征而具有“透镜”聚光效应,使包裹体的中心部位透光性较强而发亮,在 UV 激发下发微弱白色荧光或不发荧光。沥青包裹体在单偏光下呈黑色、灰黑色,不透明,在 UV 激发下不显荧光。在室温下,含沥青气相烃包裹体由气态烃和固体沥青组成,其固体沥青往往呈膜状附着在包裹体壁上,也可呈块状分布于包裹体中。

根据普光地区储层包裹体的主矿物产状及包裹体共生组合,将包裹体分为以下 3 期。

(1)第 I 期 包裹体产于鲕粒灰岩胶结物(图 1-A)及早期裂缝白云石、方解石充填物中,溶蚀孔洞类型主要有鲕模孔、鲕粒内部溶孔和生物体腔溶孔等,裂缝发育差,显微镜下观察微观裂缝宽度一般 0.1~0.25 mm,最宽约 5 mm,最窄 0.025 mm,被胶结充填完整。包裹体类型单一,数量少且个体小,以气液水包裹体(图 1-B)、液相水包裹体为主,几乎无烃类包裹体。

(2)第 II 期 包裹体主要产于溶蚀孔洞及裂缝的方解石充填物中,溶蚀孔洞类型为粒间溶孔、晶间溶孔及溶缝等。裂缝规模较小,宽度一般为 0.05~0.25 mm,溶蚀孔洞及裂缝中常充填沥青,洞壁上生长有白云石晶体。包裹体类型相对丰富,数量较多,主要为气液水包裹体、残余沥青包裹体(图 1-C)及

含沥青气相烃包裹体(图 1-D)。含沥青气相烃包裹体及残余沥青包裹体是由液相烃包裹体、气-液烃包裹体热裂解而成的。

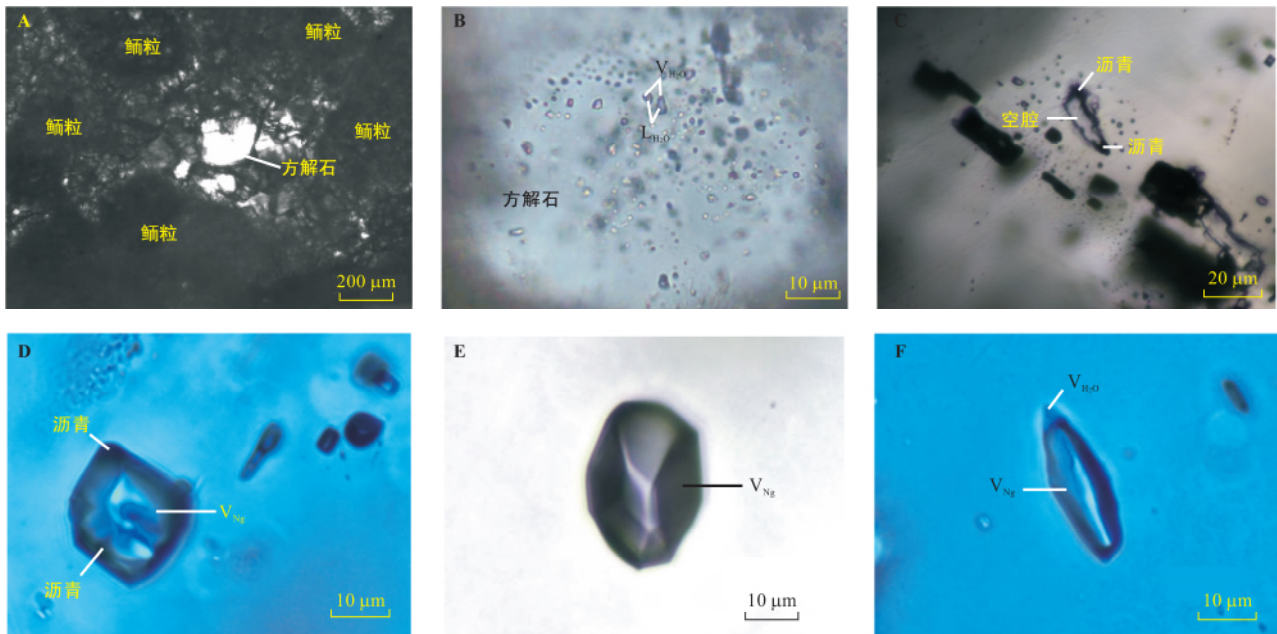
(3)第Ⅲ期 包裹体主要产于溶蚀孔、洞及裂缝的方解石、石英充填物中。裂缝规模相对较大,宽度一般 0.1~0.625 mm,常切割一、二期裂缝,缝壁很干净,没有沥青充填,或是在第二期裂缝的基础上进一步张开,形成稍宽的裂缝,此时裂缝缝壁上有少量沥青残余。溶蚀孔的边缘常呈锯齿状,说明同时发生了强烈的选择性重结晶。包裹体类型主要为气相烃包裹体(图 1-E)和烃-水包裹体(图 1-F)以及与

之共生的水包裹体。

4 包裹体均一温度和盐度

对普光气藏 6 井、8 井、9 井上二叠统长兴组、下三叠统飞仙关组储层中与油气包裹体共生的 264 个流体包裹体进行了显微观察和显微测温,其结果如表 1、2、图 3、4 所示。

由表 1 和图 3 可知:①普光气藏储层流体包裹体的均一温度范围为 85~250℃,均一温度主要集中在 120~230℃ 之间。②不同演化阶段,温度不同。第 I 期包裹体的均一温度介于 85~117℃ 之间;



A. 第 I 期鲕粒灰岩及其内部方解石胶结物(PG8-5); B. 第 I 期气液水包裹体(是图 A 的局部放大); C. 第 II 期残余沥青包裹体(PG9-23); D. 第 II 期含沥青气相烃包裹体(PG6-68); E. 第 III 期气相烃包裹体(PG6-69); F. 第 III 期烃-水包裹体(PG6-69); V_{H₂O}, 气相 H₂O; L_{H₂O}, 液相 H₂O; V_{N₂}, 气相烃

图 2 普光气藏中各期典型包裹体

Fig. 2 Typical inclusions of each period in Puguang gas reservoir

表 1 普光气藏各期均一温度

Table 1 Homogenization temperature of each period in Puguang gas reservoir

期次	层位	包裹体类型	主矿物	测定个数/个	均一温度范围/℃	平均值/℃
第 I 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石	16	85~117	97.75
第 II 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石	82	116~168	138.15
第 III 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石、石英	166	133~250	180.90

注: T_{1f}, 下三叠统飞仙关组; P_{2c}, 上二叠统长兴组, 下同

表 2 普光气藏各期均一盐度范围

Table 2 Salinity of each stage in Puguang gas reservoir

期次	层位	包裹体类型	主矿物	测定个数/个	盐度 w _B /%	
					变化范围	平均值
第 I 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石	8	15.55~20.43	18.29
第 II 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石	23	4.94~19.95	14.58
第 III 期	T _{1f} 、P _{2c}	气液水包裹体	方解石、石英	67	4.48~21.05	11.38

第 II 期包裹体的均一温度介于 116~168℃ 之间,主要集中在 120~150℃ 之间;第 III 期包裹体的均一温度介于 133~250℃ 之间,主要集中在 150~230℃ 之间。从早到晚,随着演化程度的增强,储层流体的温度也逐渐增高。施继锡等^[18]对大量包裹体进行了测温,测得生油岩的温度范围通常在 80~150℃ 之间;凝析油—湿气阶段的温度范围为 140~180℃;而干气阶段温度主要集中在 160~250℃ 之间。对比表明普光气藏演化的 3 个期次与之基本吻合。

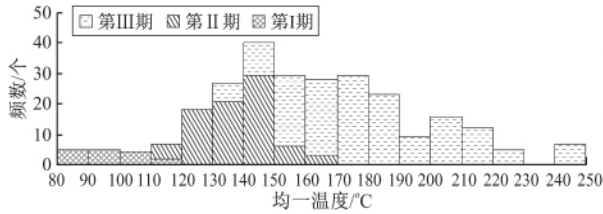


图 3 普光气藏各期次均一温度直方图

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperature of each period in Puguang gas reservoir

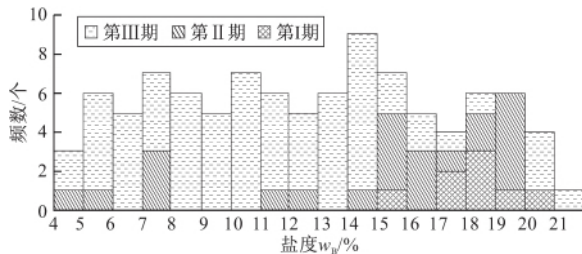


图 4 普光气藏各期次盐度直方图

Fig. 4 Histogram showing salinity of each period in Puguang gas reservoir

从表 2、图 4 中可以看出:①本区储层流体的盐度变化范围大, w_B 从 4.48% 到 21.05% 均有分布。谢增业等^[9]对川东北地区飞仙关组碳酸盐岩储层流体包裹体进行了研究,测出流体盐度为 1.7%~21%。另据李启桂等^[14]的测定,镇巴、万源、城口、巫溪一带的古油藏、沥青显示点或油气储层的流体包裹体盐度变化范围为 1.40%~22.91%,平均值为 14.47%。这些数据都与本文的测定结果基本一致。②第 I 期包裹体盐度范围为 15.55%~20.43%,盐度峰值为 17%~19%,平均值为 18.29%;第 II 期包裹体盐度变化范围为 4.94%~19.95%,盐度峰值有 2 个,即:7%~8% 和 15%~20%,平均值为 14.58%;第 III 期包裹体盐度范围较广,为 4.48%~21.05%,峰值为 5%~15%,平均值为 11.38%。可见,从 I 期到 III 期,储层流体盐度均处于中低盐度范围内,且呈逐渐降低的演化趋势。究其原因,可能是由于后期构造破坏及溶蚀出现,使得大气降水下渗,导致流体盐度降低。

5 讨论

已有的研究表明,储层在原油充注期被同生矿物捕获的石油包裹体,类似于封存很好的小油藏,地质演化过程中的产物都可能保存在体系相对封闭的包裹体中^[19-20]。烃类包裹体的均一温度一般代表包裹体被捕获时的最低温度,即烃类运移进入储层时的温度。随着油藏埋深的增加,热演化的进行,烃类包裹体中的组成和相态发生变化,而水包裹体基本不变,与该烃类包裹体伴生的气液水包裹体的均一温度、盐度可以代表油藏形成时的温度、盐度条件^[21]。因而储层流体包裹体的产出和分布可反映地质历史中已形成的油气藏的热演化作用^[19-20]。

此次通过对普光气藏包裹体显微观察和显微测温,结合普光构造演化史、烃类演化史,划分出普光气藏的成藏期次(图 5)并对普光气藏油气的演化过程进行探讨。

三叠纪末—早侏罗世,志留系和二叠系烃源岩达到生油门限,开始生油。此时飞仙关组和长兴组储层处于浅埋藏环境,受大气淡水的溶蚀作用,形成一定规模的鲕模孔、鲕粒内部溶孔和生物体腔溶孔等。包裹体主要产于鲕粒灰岩胶结物及早期裂缝白云石、方解石充填物中。由于有机质尚未大量生成,该期主要捕获的流体为古海水,包裹体类型以气液水包裹体和液相水包裹体为主,仅有极少量沥青包裹体和烃类包裹体。其均一温度变化范围介于 85~117℃ 之间,主要集中在 80~110℃ 之间,对应的地质时代为 198.75~179.17 Ma(图 5),相当于早侏罗世,盐度变化范围为 15.55%~20.43%,是成岩早期形成的产物。

中侏罗世早期—中侏罗世中期,志留系和二叠

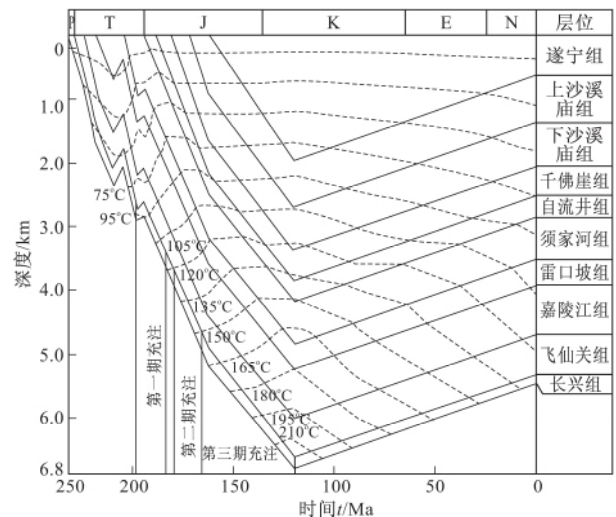


图 5 川东北普光气藏成藏期次图(底图据文献^[22])

Fig. 5 Puguang gas accumulation period in Northeast Sichuan

系烃源岩有机质进入大量生油阶段。此时储集层处于中—深埋藏环境,随着岩石温度、压力的增高,重结晶作用增强,地下水的溶蚀以及后期构造活动的影响,储集层中形成大量裂缝和溶蚀孔洞。包裹体主要产于溶蚀孔洞及裂缝的方解石充填物中。此时石油沿断裂、不整合面等运移到储层中而形成油藏。该期捕获的流体为油、水,因而形成石油包裹体(包括液相烃包裹体、气—液烃包裹体)、气液水包裹体和液相水包裹体。气液水包裹体均一温度变化范围介于 $116\sim 168^{\circ}\text{C}$ 之间,主要集中在 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 之间,对应的地质时代为 $183.33\sim 163.96\text{Ma}$ (图5),由于地下水的稀释作用,盐度范围变化于 $4.94\%\sim 19.95\%$ 之间,是成岩晚期早阶段的产物。此后在深埋藏条件下,由于温度的增高,储层孔隙中的石油热裂解成天然气和沥青,宏观上,在溶孔、溶洞、裂缝壁上也可见沥青残余;微观上,储层中石油包裹体也热裂解成气态烃和沥青。若这些石油包裹体封闭性好,则形成含沥青气相烃包裹体;若封闭性差,则气相烃泄露,而沥青残存于包裹体内,形成残余沥青包裹体。水包裹体基本不变,所以气液水包裹体的均一温度、盐度可以代表油藏形成时的温度、盐度条件^[19-20]。因此现在仅见到含沥青气相烃包裹体、残余沥青包裹体,以及气液水包裹体和液相水包裹体。

中侏罗世晚期—晚侏罗世晚期,志留系和二叠系烃源岩达到高成熟—过成熟的生气阶段。此时储集层处于深埋藏环境,随着埋深继续增加、温度持续升高,加之构造活动强烈,形成了相对较大规模的裂缝及溶蚀孔、洞,该期裂缝常切割I、II期裂缝。生油层中的有机气体沿断裂、不整合面等运移到储层中,由于溶孔、裂缝形成后只有天然气充注,因而该类溶孔、裂缝非常干净,没有沥青充填,或是在第II期裂缝的基础上进一步张开,形成稍宽的裂缝,此时裂缝缝壁上有少量沥青残余。包裹体主要产于溶蚀孔洞及裂缝中的方解石、石英充填物中。由于该期捕获的流体主要为天然气及地下水,包裹体类型为气相烃包裹体、烃—水包裹体、液相水包裹体和气液水包裹体。均一温度范围为 $133\sim 250^{\circ}\text{C}$,主要集中在 $150\sim 230^{\circ}\text{C}$ 之间,对应的地质时代为 $163.96\sim 128.65\text{Ma}$ (图5)。

6 结 论

(1)根据包裹体的主矿物产状、流体包裹体类型以及包裹体组合特征,将普光气藏上二叠统和下三叠统储层流体包裹体划分为3期。从第I期到第III期随着埋深的增加、演化的进行,均一温度逐渐升高,盐度总体呈降低的趋势。

(2)第I期包裹体形成于成岩早期,主要产于鲕粒灰岩胶结物及早期裂缝白云石、方解石充填物中;以气液水包裹体和液相水包裹体为主,均一温度变化范围介于 $85\sim 117^{\circ}\text{C}$ 之间,盐度范围为 $15.55\%\sim 20.43\%$,属于低温、中—低盐度的流体。

(3)第II期包裹体形成于成岩晚期早阶段,包裹体主要产于溶蚀孔洞及裂缝的方解石充填物中。包裹体类型主要为含沥青气相烃包裹体、残余沥青包裹体、气液水包裹体和液相水包裹体。气液水包裹体均一温度介于 $116\sim 168^{\circ}\text{C}$ 之间,盐度变化范围为 $4.94\%\sim 19.95\%$,属于中—高温,中—低盐度的流体。含沥青气相烃包裹体及残余沥青包裹体是由液相烃包裹体、气—液烃包裹体热裂解而成的。

(4)第III期包裹体形成于成岩晚期晚阶段,包裹体类型有气相烃包裹体、烃—水包裹体,以及水包裹体。均一温度介于 $133\sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间,盐度为 $4.48\%\sim 21.05\%$,属于高温、中—低盐度的流体。

参考文献:

- [1] 马永生,蔡勋育,郭旭升,等.普光气田的发现[J].中国工程科学,2010,12(10):14-23.
- [2] 李志明,徐二社,范明,等.普光气田长兴组白云岩地球化学特征及其成因意义[J].地球化学,2010,39(4):371-380.
- [3] 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2005,79(6):858-865.
- [4] 马永生,牟传龙,谭钦银,等.达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J].地学前缘,2007,14(1):182-192.
- [5] 谢增业,田世澄,李剑,等.川东北飞仙关组鲕滩天然气地球化学特征与成因[J].地球化学,2004,33(6):567-573.
- [6] 杜春国,郝芳,邹华耀,等.川东北地区普光气田油气运聚和调整改造机理与过程[J].中国科学:D辑,2009,39(12):1721-1731.
- [7] 谢增业,田世澄,李剑,等.川东北飞仙关组鲕滩气藏成藏作用研究[J].地学前缘,2005,12(1):68.
- [8] 李保华,付绍洪,顾雪祥,等.川东北地区上二叠统油气储层中流体包裹体特征及成藏期研究[J].矿物岩石地球化学通报,2012,31(2):105-113.
- [9] 谢增业,单秀琴,李剑,等.川东北飞仙关组包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J].矿物岩石地球化学通报,2006,25(1):49-54.
- [10] 李保华,顾雪祥,李黎,等.川东北毛坝气藏含自然硫包裹体的发现及其地质意义[J].矿物学报,2011,31(3):541-549.
- [11] 刘德汉,肖贤明,田辉,等.论川东北地区发现的高密度甲烷包裹体类型与油裂解气和页岩气勘探评价[J].地学前缘,2013,20(1):64-71.
- [12] 刘德汉,戴金星,肖贤明,等.普光气田中高密度甲烷包裹体的发现及形成的温度和压力条件[J].科学通报,2010,44(4-5):359-366.
- [13] 郭艳艳.普光地区须家河组储层特征研究[D].武汉:长江大学,2013.
- [14] 李启桂,裴振洪.镇巴区块油气综合研究[R].成都:中石化股份有限公司南方勘探开发分公司,2006.
- [15] 凡元芳.川东北地区普光气藏地球化学特征及成藏演化[D].武汉:中国地质大学,2006.

- [16] 张博文. 普光气田飞仙关组储层特征及其主控因素研究[D]. 成都:西南石油大学, 2012.
- [17] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 9-14, 21.
- [18] 施继锡, 余孝颖. 碳酸盐岩中包裹体有机质特征与非常规油气评价[J]. 矿物学报, 1996, 16(2): 103-108.
- [19] 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明, 等. 油气包裹体及其在石油勘探和开发中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 185.
- [20] 李葆华, 李雯霞, 吴大伟, 等. 贵州丹寨古油藏形成及演化的流体包裹体证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 33(5): 681-687.
- [21] 李葆华, 傅太宇, 董晓燕, 等. 川东北普光气藏成藏流体研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2015, 45(增刊): 799-800.
- [22] 郝芳, 朱扬明, 郑荣才. 宣汉城鑫县地区油气成藏动力学研究[R]. 成都: 中石化股份有限公司南充勘探开发分公司, 2006.

Characteristic and Evolution Process of Fluid in Puguang Gas Reservoir

Fu Taiyu¹, Li Baohua¹, Gu Xuexiang², Fu Shaohong³, Xu Shihai¹,
Dong Xiaoyan¹, Xu Long¹, Wu Dawei¹

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: This paper studies the evolution process of Puguang gas reservoir based on the microscopic observations and the micro thermometry measurement of its inclusions. The result shows that the inclusions are formed in three phases, respectively: the early period of diagenesis (inclusions of period I), the early stage in the late period of diagenesis (inclusions of period II), and the late stage in the late period of diagenesis (inclusions of period III). In period I, they are mainly the gas-liquid H₂O inclusions, with the homogenization temperature ranging from 85°C to 117°C, and the salinity 15.55%–20.43%, belonging to shallow buried environment. In period II, there are gas-liquid H₂O inclusions, gas hydrocarbon inclusions containing bitumen and residual bitumen inclusions. The latter two are thermal cracked from Liquid phase hydrocarbon inclusions, gas-liquid hydrocarbon inclusions. The homogenization temperature gas-liquid H₂O inclusions range from 116°C to 168°C, and the salinity is 4.94%–19.95%, belonging to middle-deep buried environment. In period III, inclusions are mainly hydrocarbon inclusions, hydrocarbon-H₂O inclusions and gas-liquid H₂O inclusions, with the homogenization temperature ranging from 133°C to 250°C, and a wide range of salinity: 4.48%–21.05%, corresponding to the dry gas stage, belonging to deep burial environment. From stage I to stage III, with the increase of depth and evolution, the homogenization temperature increased gradually and the salinity showed a decreasing trend.

Key words: Puguang gas reservoir; petrography characteristics of fluid inclusion; micro measurement; process of fluid evolution in reservoir

(上接第 133 页)

hardly to carry out the research on plugging mechanism to the low permeability reservoir caused by suspended particle and suspended oil-drop. For suspended particle and suspended oil-drop, we have designed respectively the core plugging experiment which used 3 kinds of size and 5 kinds of concentration and the reverse solution plugging experiment on the low permeability reservoir. The results achieved are as follows: For suspended particle and suspended oil-drop, the plugging form have penetrable plugging, shallow plugging and a transitional phase from penetrable plugging to shallow plugging. The concentration c and size d play different leading roles for the plugging degree in different plugging phases. The plugging degree is the most serious but the effect of removing plugging is the worst in a transitional phase. The size range of suspended particle is narrow in a transitional phase, while the size range of suspended particle is wide in a transitional phase. The effect of removing plugging on suspended particle is better than on suspended oil-drop. We suggest that the concentration should be low, and the particle-size range should be focused and away from the transitional phase. Accordingly, that the Ansai low permeable oil field should follow $c \leq 2$ mg/L and $d < 4.175 \mu\text{m}$ of suspended particle and $c < 5$ mg/L and $d \leq 3.16 \mu\text{m}$ of suspended oil-drop in injected water.

Key words: the low permeability reservoir; suspended particle; suspended oil-drop; plugging; concentration; size