

文章编号: 1009-3850(2003)03-0106-04

包裹体信息在川西远源气藏研究中的应用

吕正祥^{1,2}

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国石化西南分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610081)

摘要: 笔者利用川西远源气藏中流体包裹体形成温度和成分信息等, 得出大量对预测气藏有利的地质认识。包体温度表明储层建设性溶蚀作用发生于燕山晚期, 气藏中的有利储层分布在燕山晚期构造高部位的有利微相砂体中; 断裂、裂缝发育具多期性; 气藏中的烃类流体信息反映出川西远源气藏成藏具有多期性。

关键词: 包裹体; 远源气藏; 川西

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

1 概述

远源气藏是指气藏所在地层组不具备或基本不具备生油气能力, 天然气来源于与其不相邻的其它地层, 即天然气从烃源层排出并经过长距离的垂向运移后, 在其它地层中聚集而成的气藏。川西侏罗系碎屑岩中含有丰富的天然气, 目前已经探明较大地质储量, 并形成了较为规模的开发形势, 是目前我国最大的浅层天然气气藏。大量研究成果已经充分表明, 川西侏罗系碎屑岩为著名的氧化环境中沉积的厚约2000m的红色碎屑岩地层, 地层中有机质含量很低, 基本不发育生烃能力强的有机质, 形成气藏的气源来自纵向上距该套地层1000m以上的下伏三叠系, 是著名的远源气藏。

川西新场气田为典型的主要由远源气藏组成的气田, 该气田是一个多气藏叠置的大型气田, 自上而下分别有白垩系气藏和侏罗系蓬莱镇组、沙溪庙组、千佛崖组气藏及上三叠统须家河组气藏等, 其中前四个气藏属远源气藏气源层为上三叠统煤系地层及其以下地层。新场气田沙溪庙组气藏为新场气田储

产量最大的主力气藏, 拥有探明和控制储量之和超过 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$, 日产量超 $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 年产量约 $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 具较好的开发前景, 烃源层距该气藏储层的最短垂直距离约1500m, 其间主要以红色泥岩相隔。本文以该气藏为例, 分析包裹体信息在川西远源气藏研究中的重要性。

2 包裹体信息的应用

由于远源气藏距离烃源层远, 要形成气藏, 必须有许多必备的地质条件, 如良好储集性储层的发育状况、良好储集性储层与断裂的配置关系、烃源层到气藏储层间的断裂、裂缝等天然气运移通道的发育状况、主要成藏期, 以及它们之间的配置情况, 等等。由于川西坳陷为受多期构造运动影响的多旋回沉积盆地, 侏罗系储层分布非均质性极强, 因而储层预测和气藏成藏期等的确定难度大。伴随近年来流体包裹体分析测试手段的快速发展, 以及包裹体信息在油气地质研究领域的大量成功应用, 为获得对上述这些问题的较为准确的认识提供了新的信息, 如利用流体包裹体温度可以解决缺乏有机质地层中储层

收稿日期: 2003-03-30

作者简介: 吕正祥, 高级工程师, 博士, 主要从事天然气地质研究。

成岩作用研究中的成岩温度,从而为预测有利储层提供依据;根据断裂、裂缝充填物中的流体包裹体信息,可以推断断裂、裂缝的形成时期和形成压力;借助流体包裹体中地球化学信息可以分析气藏成藏期次,等等。

1. 预测有利储层

新场气田沙溪庙组气藏为典型的致密砂岩气藏,气藏储层的储集性差,重要原因是储层经历了较为复杂的成岩作用。已知钻井天然气显示和测试成果表明,天然气主要储集在相对较好储集性储层(良好储层)中,良好储层的发育状况除受沉积古环境制约外,另外一个重要的因素是溶蚀作用强度。川西侏罗系气藏的研究中必须建立正确的储层成岩作用序列,深入分析影响溶蚀作用强度的地质因素,在此基础上才能实现对有利储层发育状况的可靠预测。成岩温度是准确建立储层成岩作用序列及分析储层孔隙空间演化史的重要参数,缺少了温度数据,难以将孔隙空间演化史与地史进行有机结合,从而也就失去了建立成岩作用序列的意义。目前在确立成岩温度中,世界上最常用也最成熟的方法是两相包体测温和通过有机质镜煤反射率计算。但在研究新场上沙溪庙组储层各成岩阶段的温度特征中,由于缺乏有机质,难以通过有机质镜煤反射率计算出成岩温度,因此自生矿物包裹体中的温度信息即变得尤为重要;同时由于川西远源气藏分布地层中既缺乏能产生酸性流体的有机质,又不发育大型的不整合面,储层中发生的溶蚀作用与储层本身所在地层中的泥岩成岩变化关系不密切,而主要与下伏烃源层中的有机质演化形成的酸性流体有关,因此在分析储层成岩作用温度和预测有利溶蚀带时,必须充分利用包裹体信息来确定储层发生强烈溶蚀作用的地质时期、分析下伏烃源层、运移通道与储层的配置关系,进而达到有效预测良好储层的目的。

从研究区远源气藏储层中发育的溶蚀孔产状可见溶蚀作用至少有两期:成岩早期曾经遭受过一定的溶蚀作用,它主要是在残余原生粒间孔的基础上溶蚀扩大,孔隙充填物包括自形石英、绿泥石、方解石等;第二期溶蚀作用发生晚,从自生矿物分布与溶蚀孔隙产状明显可以区分出溶蚀作用是在自生绿泥石衬垫之后发生,它主要表现为碎屑颗粒的粒内溶孔以及超大孔。早期溶蚀孔隙在形成后由于岩石遭受进一步的压实,使得包围早期溶蚀颗粒的残余绿

泥石包壳在压实作用的影响下被挤压变形而成肩并肩的蠕虫状;晚期溶蚀作用完全形成于岩石颗粒胶结成岩后,它形成的孔隙并未遭到压实的进一步破坏,溶蚀孔隙保存好,可见该期溶蚀对改善储层储集性是十分有效的。该区绝大多数良好储层中的溶蚀孔隙较为发育。由此可见,要预测良好储层的发育状况,必须准确确定晚期溶蚀作用的发生时期,分析下部酸性流体进入储层的通道条件。从储层成岩作用特征分析可知,第二期溶蚀作用发生时期基本与自生石英形成时期相当,因此根据自生石英的形成温度可以大致推断该期溶蚀作用的时期。自生矿物中的包体均一化温度代表了该矿物的形成温度,因而反映了成岩温度的变化^[1,2],该区储层不规则自生石英中发育两相包体,经测定其均一化温度主要分布在81~97℃。经古地温梯度换算,自生石英形成时期约相当于燕山晚期,此时研究区侏罗系远源气藏的烃源岩层正处于生排烃高峰期,因此该溶蚀作用发生于燕山晚期,其发育程度主要决定于该时期储层分布的构造位置、储层到烃源岩之间通道的发育状况、储层中易溶组分的含量多少等。川西侏罗系远源气藏砂岩中普遍含较多的长石、岩屑等易溶组分,主要构造带一般都具有断达烃源岩的深大断裂。良好储层的发育状况主要受制于溶蚀作用发生时期储层所处的构造位置,在燕山晚期构造高部位的储层遭受溶蚀作用强度最强,容易形成良好储层。因此要在燕山晚期构造高部位上分布的有利沉积微相中去寻找良好储层。

2. 确定裂缝形成期次

远源气藏中由于储层距烃源岩距离远,储层与烃源岩之间大量分布的是封隔能力较强的泥页岩,要使烃源岩中的酸性流体充分进入储层,进而对储层中的易溶组分进行溶蚀,必须有相应的裂缝、断裂最为有效的流体运移通道。因此裂缝的形成期次研究十分重要,只有与有机酸排除时期基本同时形成或之前形成,而在有机酸排除时期未闭合的裂缝才对运移有机酸有效;在经历了有机酸排除高峰期后,有机酸在地温增加后,将发生热脱羧作用而消失。因此之后形成的裂缝对有机酸的运移是没有贡献的。

大量研究成果表明,有机酸浓度最大温度区间为80~120℃,这一阶段大约相当于烃源层的有机质演化到半成熟—低成熟期。若以中值100℃计,按新

场地区的古地温梯度 $3.17^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 计算,新场沙溪庙组气藏烃源层最大有机酸排出期在晚侏罗世遂宁组沉积末期至蓬莱镇组沉积末期,大约相当于燕山早幕后期—燕山中幕,在该阶段和以前形成的断裂、裂缝系统对有机酸的运移十分有利。

岩石力学性质、已知井中的裂缝发育状况、地震信息等反映出新场地区具备发育多期构造裂缝的条件,可能存在多期破裂^[3]。要明确裂缝的具体形成时期,必须通过进一步的研究工作来确定。据该地区侏罗系中裂缝充填物包裹体形成温度信息,反映该地区中、下侏罗统中发育两期裂缝:第一期形成温度约为 48°C ,相当于埋深 900m 左右,即遂宁组沉积末期形成;第二期中的包体温度为 90°C ,推测约相当于蓬莱镇组沉积末期(燕山中幕)。另据烃源层中的裂缝充填物包裹体测温结果,也发现烃源层中发育以下几期裂缝:即燕山早期、燕山中期和喜马拉雅期。由此可见,自烃源层到其上远源气藏储层中,从有机质成熟到最主要的生排烃高峰期各主要阶段均有裂缝发育,从而为烃类运移进入储层形成天然气远源气藏提供了必要通道。对于那些烃类生成后,断裂、裂缝不发育的地层中将难以发现远源气藏。

3. 分析气藏成藏史

大量研究成果表明,川西侏罗系远源气藏成藏历史复杂,只有认识了气藏的成藏过程,明确其主要成藏期,才能根据对应成藏期的成藏要素特征和相互匹配状况有效预测气藏分布。气藏成藏过程中有相应的成藏化石记录,其中包裹体中的烃类成分特征是重要的成藏化石记录,在成藏研究中发挥着越

来越重要的作用。激光拉曼分子微探针(LRN)能将激光聚焦在 $1\mu\text{m}^2$ 的极小区域进行分子成分和结构的微区分析,利用它可以区分原生、次生、假次生和变生等包裹体,特别为含有有机质包裹体和烃类有机包裹体的成分鉴定提供了简单、可靠的测试手段。

为研究新场远源气藏的充注期次问题,笔者选择了上沙溪庙组储层的自生矿物中有机包体作激光拉曼分子微探针分析。从次生矿物烃类包体成分分析结果(表1)可以明显看出本区储层中曾有烃类的多次注入。在包体成分中,可以选择几种参数来分析储层中烃类的注入史:一是甲烷基本浓度 $\text{CH}_4/(\text{CH}_4+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$,该值的大小反应成熟度的高低;二是烷烃/总有机组分 $(\text{CH}_4+\text{C}_2\text{H}_6+\text{C}_3\text{H}_8)/(\text{CH}_4+\text{C}_2\text{H}_6+\text{C}_3\text{H}_8+\text{C}_2\text{H}_2+\text{C}_2\text{H}_4+\text{C}_4\text{H}_6+\text{C}_6\text{H}_6)$,该值高则油气演化程度高,反之则演化程度低,若同一样品中含不同比值的包裹体均发育,则说明有不同时期的油气混合;三是甲烷/总有机组分 $\text{CH}_4/(\text{CH}_4+\text{C}_2\text{H}_6+\text{C}_3\text{H}_8+\text{C}_2\text{H}_2+\text{C}_2\text{H}_4+\text{C}_4\text{H}_6+\text{C}_6\text{H}_6)$,此值大,代表无极性分子较多,极性分子较少;反之代表极性分子较多,无极性分子较少^[4]。从以上各值在川西远源气藏储层中的分布特征可以得出一些相关的成藏信息。

分析结果表明,甲烷基本浓度值大小相差较大,为 $0.022\sim 0.399$,相差最大的超过一个数量级,说明本区上沙溪庙组储层中的烃类存在多期聚集;从烷烃/总有机组分大小可以看出研究区储层中聚集的天然气的演化程度高低悬殊,其中最低的为 0.407 ,

表 1 自生矿物液相包体成分分析结果表

Table 1 Analytical results of the liquid inclusion compositions in the authigenic minerals from the study area

样号	砂 体	包体赋存状态	甲烷基本浓度	烷烃/ 总有机组分	甲烷/ 总有机组分	备 注
1	JS ₁ ¹	次生石英	0.160	0.642	0.642	邻近东部断裂区
2	JS ₁ ¹	次生石英	0.217	0.618	0.618	
3	JS ₂ ²	次生石英	0.106	1	0.572	
4	JS ₂ ²	石英填充	0.136	0.407	0.407	
5	JS ₂ ²	次生石英	0.232	0.673	0.425	
6	JS ₂ ²	次生石英	0.172	1	0.609	
7	JS ₂ ²	次生石英	0.207	0.459	0.459	
8	JS ₂ ⁴	石英加大	0.022	0.838	0.294	西部断裂不发育区
9	JS ₂ ⁴	次生石英	0.399	0.631	0.342	
10	JS ₂ ⁴	次生石英	0.119	1.000	0.436	

最高的为 1。因此在烃源层的相对低的演化阶段, 即有生成的烃类进入沙溪庙组储层, 同时也有演化程度高的烃类进入了储层, 这同样反映出储层中发生过烃类的多次注入; 甲烷/总有机组分是反映运移先后的参数, 该值在邻近东部大断裂(断达烃源层)的储层中整体偏大, 而西部远离断裂带的储层包体中该值较小。其原因可能是西部地区由于距运移主通道断裂较远, 在烃源层处于较高成熟度时发育的断层主要分布在东部, 此时上沙溪庙组已相当致密, 烃类进入西部储层中的难度增大, 因此含无极性分子多的烃类主要分布在邻近断裂区, 西部储层包裹体中的极性分子较多。

川西中侏罗统上沙溪庙组远源气藏中储层包体成分特征说明, 新场侏罗系远源气藏为上三叠统气源多次充注、聚集而成。

3 结 论

根据川西新场气田中侏罗统沙溪庙组远源气藏中丰富的流体包裹体信息, 结合其它地质研究成果, 可以得出大量对气藏预测有利的认识: 控制该气藏中的有利储层发育的主要地质因素除与沉积古环境

密切相关外, 另一个重要因素是建设性溶蚀作用的强度, 该期溶蚀作用发生于燕山晚幕, 川西侏罗系远源气藏中有利储层沉积相带广泛发育。因此有利储层的发育普遍表现为与溶蚀作用关系最为密切, 良好储集性储层主要分布在燕山晚期构造高部位的有利微相中。新场气田自侏罗系到其烃源层均有较多的断裂、裂缝发育, 因此具备良好的运移通道条件, 这也是形成远源气藏的必备条件。川西地区由于经历了多次构造运动, 与之相对应可能存在多期次的烃类注入, 流体包裹体成分分析证实了这一事实。

参考文献:

- [1] 卢焕章, 李秉伦, 沈昆, 等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [2] 卢焕章, 郭迪江. 流体包裹体研究的进展和方向[J]. 地质论评, 2000, 46(4): 385—392.
- [3] 周文. 裂缝性油气储集层评价方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998.
- [4] 徐培苍, 等. 地学中的拉曼光谱[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.

Applications of inclusion information to the distal gas pools in western Sichuan

LU Zheng-xiang^{1, 2}

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Southwest China Branch, SINOPEC, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Abundant information available for the prediction of gas pools has been obtained in the light of the temperatures and compositions of the fluid inclusions from the distal gas pools in western Sichuan. The data on the temperatures of the inclusions indicate that the constructive corrosion of the reservoir rocks took place during the late Yanshanian. The excellent reservoir rocks in the gas pools are mainly distributed in the favourable microfacies sandstones of the late Yanshanian structural highs. Fractures and fissures are multistaged, and the accumulation of the distal gas pools in western Sichuan is also multistaged, as revealed by the information on hydrocarbon-bearing fluids from these gas pools.

Key words: inclusion; distal gas pool; western Sichuan