

文章编号: 1001-6112(2011)04-0408-06

中扬子南缘王村上寒武统古油藏成藏剖析

李艳霞¹, 钟宁宁², 林娟华³, 龙幼康⁴, 李净红¹

(1. 西安石油大学 油气资源学院 非常规天然气研究中心, 西安 710065;

2. 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083;

4. 中国石油化工股份有限公司 江汉油田分公司 勘探开发研究院, 湖北 潜江 433124)

摘要:通过流体包裹体类型观察、均一温度测定,同时结合盆地模拟及原油裂解动力学计算,对中扬子区南缘永顺王村上寒武统古油藏进行了详细的解剖,认为加里东期,中扬子南缘地区普遍接受下寒武统烃源岩有效供烃,局部地区上震旦统烃源岩也形成有效供烃灶,研究区所在的斜坡为油气运移指向区,聚集形成原生油藏。早中三叠世,震旦系和中下寒武统中的原生气藏,在印支构造主幕下发生油气调整,王村古油藏就此形成。晚三叠世—早侏罗世,王村古油藏在挠曲构造或逆冲推覆体作用下被深埋,油气藏迅速发生原油裂解,原油裂解气型烃源灶接力供烃,彻底转变为气藏,同时也加速了油气散失的速度。后期在燕山 II 幕强烈改造以及喜山运动的叠加改造下,古油气藏散失殆尽。

关键词:原油裂解气;成藏剖析;王村古油藏;上寒武统;中扬子区

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Accumulation of Upper Cambrian ancient reservoir in Wangcun, southern margin of middle Yangtze region

Li Yanxia¹, Zhong Ningning², Lin Juanhua³, Long Youkang⁴, Li Jinghong¹

(1. Research Center of Unconventional Gas, School of Oil-and-Gas Resources, Petroleum University of Xi'an,

Shaanxi 710065, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China; 4. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, Jiangnan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Qianjiang, Hubei 433124, China)

Abstract: Based on microscopic observation and micro-thermometry measurement of fluid inclusions, combined with basin simulation and crude oil pyrolysis calculation, it is discussed in this paper the Upper Cambrian reservoir in Wangcun, the southern margin of the middle Yangtze region. During the Caledonian period, the southern margin of the middle Yangtze region accepted hydrocarbon from the Lower Cambrian source rocks. In some regions, the Upper Sinian source rocks also worked as effective hydrocarbon kitchens. Wangcun, located on the slope, was the destination of hydrocarbon migration, resulting in primary pool. During the Early and Middle Triassic, primary pools in Sinian and the Middle and Lower Cambrian adjusted due to the Indosinian Movement and the Wangcun ancient reservoir was formed. From the Late Triassic to the Early Jurassic, the Wangcun ancient reservoir was buried deep as the result of flexing or thrust-nappe effect. Crude oils cracked rapidly and oil-cracking-gas source kitchen supplied hydrocarbon in succession. The Wangcun reservoir transformed to gas pool completely, accelerating the dissipation rate of oil and gas. Due to the strong deformations during Yangshan and Himalayan stages, the ancient reservoir finally disappeared.

Key words: crude oil cracking gas; accumulation analysis; Wangcun ancient reservoir; Upper Cambrian; middle Yangtze region

经过多年的石油地质勘探,在中扬子区及其周缘发现众多油气苗及沥青显示,如慈利南山坪古油藏、王村古油藏及通山半坑古油藏。上述沥青及油

气苗点分布范围广泛、层位众多,类型丰富。古油藏的存在,充分表明从前寒武纪至晚古生代,中扬子区确实具备形成油气藏乃至大油气藏的条件,但

收稿日期: 2010-08-31; 修订日期: 2011-06-20。

作者简介: 李艳霞(1967—),女,博士,副教授,从事油气地球化学及石油天然气成藏等方面的研究。E-mail: lyx4164@xysu.edu.cn。

基金项目: 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室开放课题(2009002)资助。

是在油气藏形成之后经历强烈改造和彻底的破坏最终演变为固体碳质沥青古油藏。

中扬子区盆地是后期改造程度最剧烈的一种叠合盆地^[1],其构造演化及多期改造的复杂性,导致其古生界油气演化的复杂性,产生了成因多样、成藏规律复杂的油气藏,同时由于后期构造改造及破坏,造成大量先期形成的油气逸散及油气藏的破坏^[2-3]。本文以湘西永顺王村上寒武统古油藏作为成藏解剖实例,分析中扬子南缘区曾经历的油气成藏过程,力图从宏观上寻找南方海相油气成藏规律,从而为南方海相油气勘探提供借鉴。

1 区域地质背景

中扬子区海相盆地经历多旋回构造运动叠加、改造,包括加里东期、海西—印支期、燕山期、喜山期,但该区主要受印支期以来的 3 期构造叠加改造^[4-7]。改造的形式有挤压褶皱变形、抬升剥蚀、张性断块运动、区域沉积沉降^[7]。多旋回构造—沉积背景下,中扬子区发育上震旦统陡山沱组、下寒武统、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组等多套优质泥质烃源岩。从现今的古油藏和油气藏分析表明,中扬子区下古生界具有多套储层,且类型丰富,如南山坪古油藏中上震旦统灯影组古岩溶储层,王村上寒武统溶孔—孔隙型储层以及通山半坑志留系高角度裂缝储层等。区内下寒武统泥岩和志留系巨厚的泥岩作为 2 套主要的区域性盖层。

王村上寒武统古油藏处于江南雪峰隆起西北缘,隶属于湘鄂西冲断褶皱带桑植—石门复向斜与雪峰山隆起带的交接部位,局部构造位于呈北东向展布的复向斜南东翼^[8](图 1)。古油藏储层主要为上寒武统结晶白云岩、白云质灰岩与古岩溶砾状白云岩;储集空间为晶间孔和溶蚀孔、洞以及构造裂缝;沥青产状多以网状、浸染状、晶间孔型、溶洞型、裂缝型赋存,沥青富集在中粗粒结晶白云岩晶间。古油藏的盖层为下志留统龙马溪组(S_1l)泥岩,但是在该区中奥陶统无沥青显示,表明该古油藏的直接盖层可能为下奥陶统大湾组(O_1d),其岩性为泥质灰岩和钙质页岩。

2 烃源灶时空演变

油气藏的形成是油气生成、运移、聚集的结果。从干酪根生成油气,再到原油裂解成天然气,从化学反应角度看来,不过是生烃母质复杂分子不断解析和降解的自然过程,它成就了地质历史中多种类型的烃源灶接力供烃,为天然气成藏提供油气供给条件。中国南方海相叠合盆地主要具有烃源层时代老,历经多次旋回构造运动,具有多期次生烃、油气运移、聚集和后期多次调整改造成藏的特点;在地质历史过程中盆地烃源灶性质发生非常明显的变化,即由干酪根型烃源灶转变为原油裂解型烃源灶,烃源灶存在时空的变迁。而原油裂解型烃源灶和现今天然气藏的耦合作用的更是南方海相天然

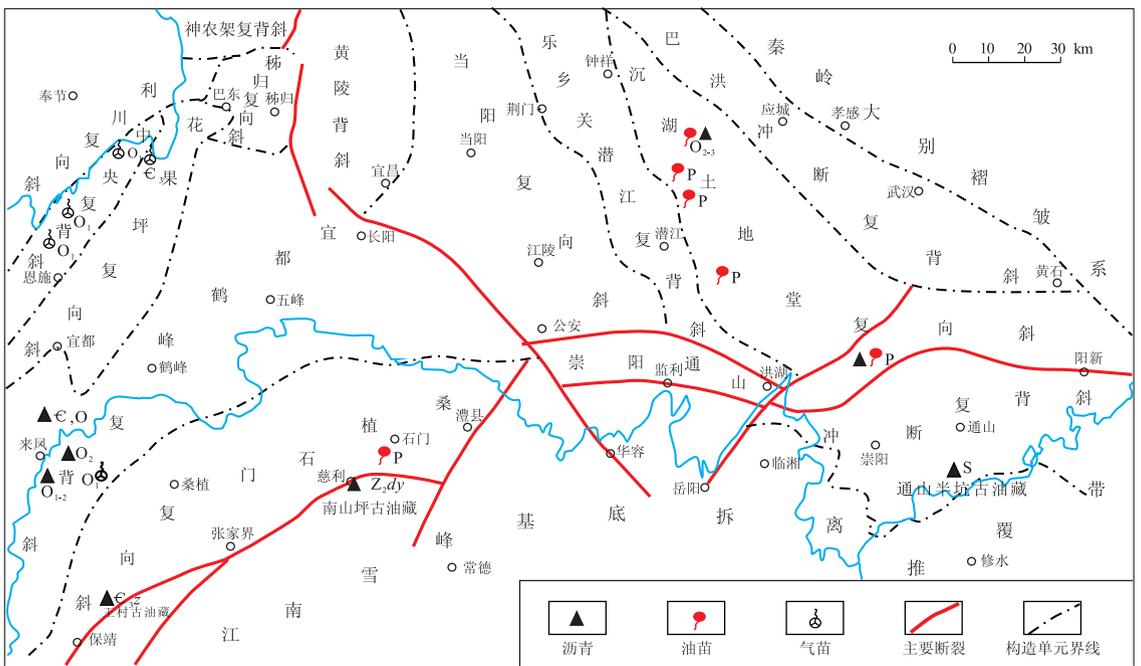


图 1 中扬子构造单元及其油气苗显示分布

Fig. 1 Tectonic units and oil-and-gas outflows in middle Yangtze region

气晚近期成藏的关键制约因素。

2.1 干酪根型烃源灶

中扬子区震旦系一下古生界烃源岩中,下寒武统牛蹄塘组(C_1nt)泥岩和上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组(O_3w-S_1l)泥岩是2套主要的区域性烃源岩,上震旦统陡山沱组(Z_2ds)泥岩为局部烃源岩,主要发育在湘鄂西区中南部。通过对该区进行一维盆地模拟及干酪根生烃动力学计算,早志留世(440 Ma),上震旦统和下寒武统烃源岩相继进入生油门限,生油强度较小,王村周边上震旦统一下寒武统烃源岩累积生烃强度为 $9.38 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (图2);早中志留世时期(440~424 Ma),上震旦统和下寒武统烃源岩基本达到生油高峰期,生油强度达到最大,王村北部咸丰一带为生烃中心,最大阶段生烃强度达 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。中扬子区广覆式优质下寒武统海相泥岩形成强大供烃灶,为下古生界油气成藏提供了充足的烃源岩,威远震旦系气藏^[9-10]和南山坪灯影组古油藏^[11]油气源的研究,充分证实这一点。早泥盆世(加里东末期),由于加里东运动使中扬子区整体抬升,迫使部分地区烃源岩生烃速度骤然下降,湘鄂西区上震旦统一下寒武统烃源岩成熟度 R_o 已达到 1.2%,干酪根生油迅速减小,生油强度分别为 2.90×10^8 , $12.89 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;海西期—印支期,烃源岩成熟度缓慢增大,生油基本结束;至早三叠世,盆地再一次快速沉降,烃源岩成熟度快速增高,很快达到干酪根裂解生气阶段,上震旦统一下寒武统烃源岩累计生气强度为 $5.75 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;中三叠世末期(235 Ma),干酪根生烃全面结束。

2.2 原油裂解气型烃源灶

目前研究区海相烃源岩普遍达到高一过成熟,

上震旦统烃源岩和下寒武统烃源岩 R_o 值基本上大于 2.0%,最高可达 3%~4%^[12],已经失去生烃能力。但是,早期形成的油气藏在经历高热演化过程中,原油会逐渐变的不稳定,发生歧化反应,最终导致原油裂解,生成天然气和碳质沥青。高成熟原油裂解生气是干酪根生烃的延续,是中国海相气源灶高效成气的重要途径。从四川盆地威远气田震旦系气藏^[13]、川东北普光气田以及川东地区石炭系气藏^[14]中天然气的来源研究,证实原油裂解气型烃源灶在我国南方高一过成熟地区的天然气成藏中占重要地位。

根据对该区域的盆地热史模拟及原油裂解动力学计算,认为永顺王村上寒武统古油藏在晚三叠世(235~208 Ma),原油快速进入裂解生气阶段(图2);晚三叠世中期(221 Ma)达到裂解高峰期,原油裂解气阶段供气强度为 $6.71 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;早侏罗世时期,古油藏裂解基本完毕。在印支期前,湘鄂西区海相油气成藏条件优越,形成大量原生油气藏,这些原生油气藏在印支期—早燕山早期原油发生裂解。

3 利用流体包裹体均一温度确定成藏期次

3.1 包裹体特征

永顺王村上寒武统追屯组(C_3z)储层为白云岩,包裹体较发育,一般产于充填裂缝的亮晶方解石脉中,呈串珠状成带成群展布,个体微小,多为 3~5 μm ,个别可达 4~80 μm 。显微镜下可观察到 4 类包裹体(图3):第 1 类为沥青包裹体,为棕褐色—黑色,其白云岩晶间孔或晶间溶孔大量发育(图3b);

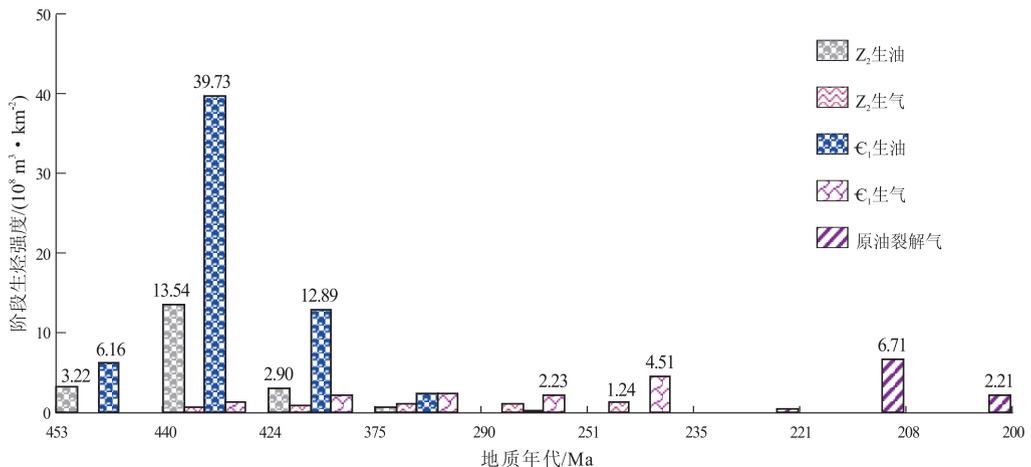


图2 中扬子区王村 Z_2ds 和 C_1nt 烃源岩干酪根热解及原油裂解生烃强度

Fig. 2 Intensity of hydrocarbon generation caused by thermal pyrolysis of kerogen of Z_2ds and C_1nt source rocks and oil cracking in Wangcun, middle Yangtze region

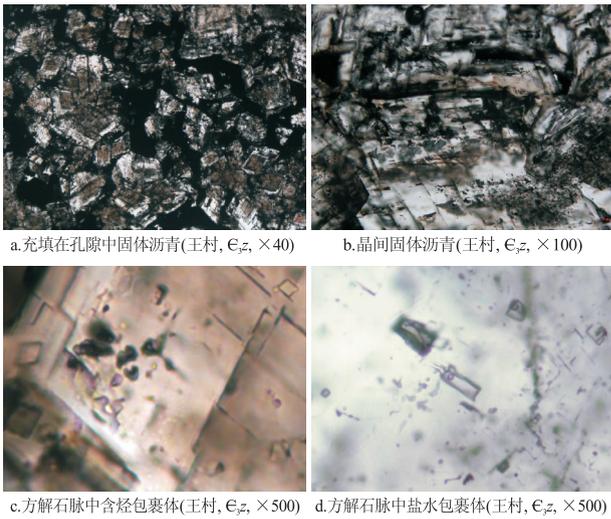


图 3 中扬子区王村上寒武统

古油藏中储层流体包裹体显微镜下特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of fluid inclusions collected from Upper Cambrian ancient reservoir in Wangcun, middle Yangtze region

第 2 类为含烃盐水包裹体,包裹体壁略厚,液烃附着在包裹体内壁和气泡外缘,单偏光下,为浅褐色—深褐色,无荧光,有较高的含量(图 3c);第 3 类为气态烃包裹体,常温下,基本为单一的气相,无色、无荧光,有一定的含量;第 4 类为无机盐水包裹体,单偏光下,无色透明,其含量较少(图 3d)。

3.2 包裹体均一温度特征

研究认为,与有机包裹体同期的共生盐水包裹体被捕获时是均一相的,并一直处于等容封闭体系,盐水包裹体的均一化温度即为油气包裹体被捕获时(油气充注时)地层温度的下限值^[15]。因此,利用包裹体均一温度,结合盆地的生烃史、古地温史,可以推测油气充注的时期。

包裹体均一温度范围为 150~210 °C,主要集中在 150~175 °C。通过包裹体与宿主矿物生长关系和均一温度等资料综合划分包裹体期次,将永顺王村上寒武统追屯组储层中的包裹体划分为两期:第一期 150~175 °C;第二期 180~210 °C(图 4)。

3.3 成藏期次及成藏时间

根据上寒武统储层流体包裹体均一温度结合研究区埋藏史—古地温剖面可以得出(图 5):第一期:印支期(240~235 Ma),由于构造运动的影响,聚集在上震旦统、下寒武统储层中的油气沿着断层运移至上寒武统储层中,此时流体主要为液态烃,包裹体主要捕获液态烃包裹体、含烃包裹体,含烃盐水包裹体和共生盐水包裹体均一温度为 150~175 °C。第二期:早燕山期(227~178 Ma),由于地层深埋,储层中的原油大量裂解;至早侏罗世晚期,古油藏完全裂

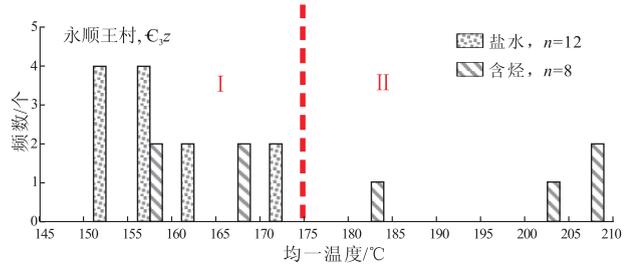


图 4 中扬子区王村上寒武统追屯组储层流体包裹体均一温度分布

Fig. 4 Homogenization temperatures of fluid inclusions in Upper Cambrian Zhuitun Formation of Wangcun reservoir, middle Yangtze region

解,该期流体主要为气态烃,包裹体较小,主要以含气态烃盐水包裹体为主,包裹体均一温度较高,一般在 185~210 °C 之间。

4 古油藏演化过程

早古生代的永顺王村处于江南盆地北缘、扬子台地的边缘斜坡上。这两大构造—沉积单元的任何相对活动均会影响到王村周边构造、沉积和油气成藏作用。应当指出的是,古生代一直到中三叠世王村地区的构造活动、沉积作用及其生储盖组合均是有利于该区灯影组油气聚集。

4.1 加里东期—海西期:原生气藏形成

晚奥陶世,上震旦统一下寒武统烃源岩进入生油门限;志留纪,上震旦统和下寒武统 2 套烃源岩达到生油高峰期,中扬子湘鄂西区生烃中心主要位于恩施—咸丰一带,王村地区紧邻生烃中心,而且该区的烃源岩也都进入成熟阶段。从晚震旦世至早古生代,扬子板块总体表现为稳定发展阶段,构造运动较少,主要为地壳升降运动。在该阶段中,油气主要以横向运移为主,斜坡和台地地区成为油气运移的主要指向区,如慈利南山坪上震旦统灯影组古油藏^[16]。此时,王村地区处在生油洼陷边缘斜坡上,是油气运聚的最佳位置,油气聚集主要以岩性或地层—岩性圈闭为主。该时期,油气主要聚集在上震旦统和下寒武统储层中(图 5)。

4.2 印支期:次生油气藏形成

据前人^[17-20]的研究,中扬子南缘区在印支期以前并未遭受过强烈的构造活动,断裂不发育。中三叠世,印支运动爆发,中扬子南缘及其周缘发生强烈挤压推覆作用;江南—雪峰山构造体由南向北,由南东向北西方向逆冲推覆,导致大量深大断裂带产生,同时在构造应力相对较弱的地区形成构造圈闭。永顺王村紧邻江南—雪峰构造带,构造活动强烈,断层形成,但此时断层并未切穿上寒武统的顶

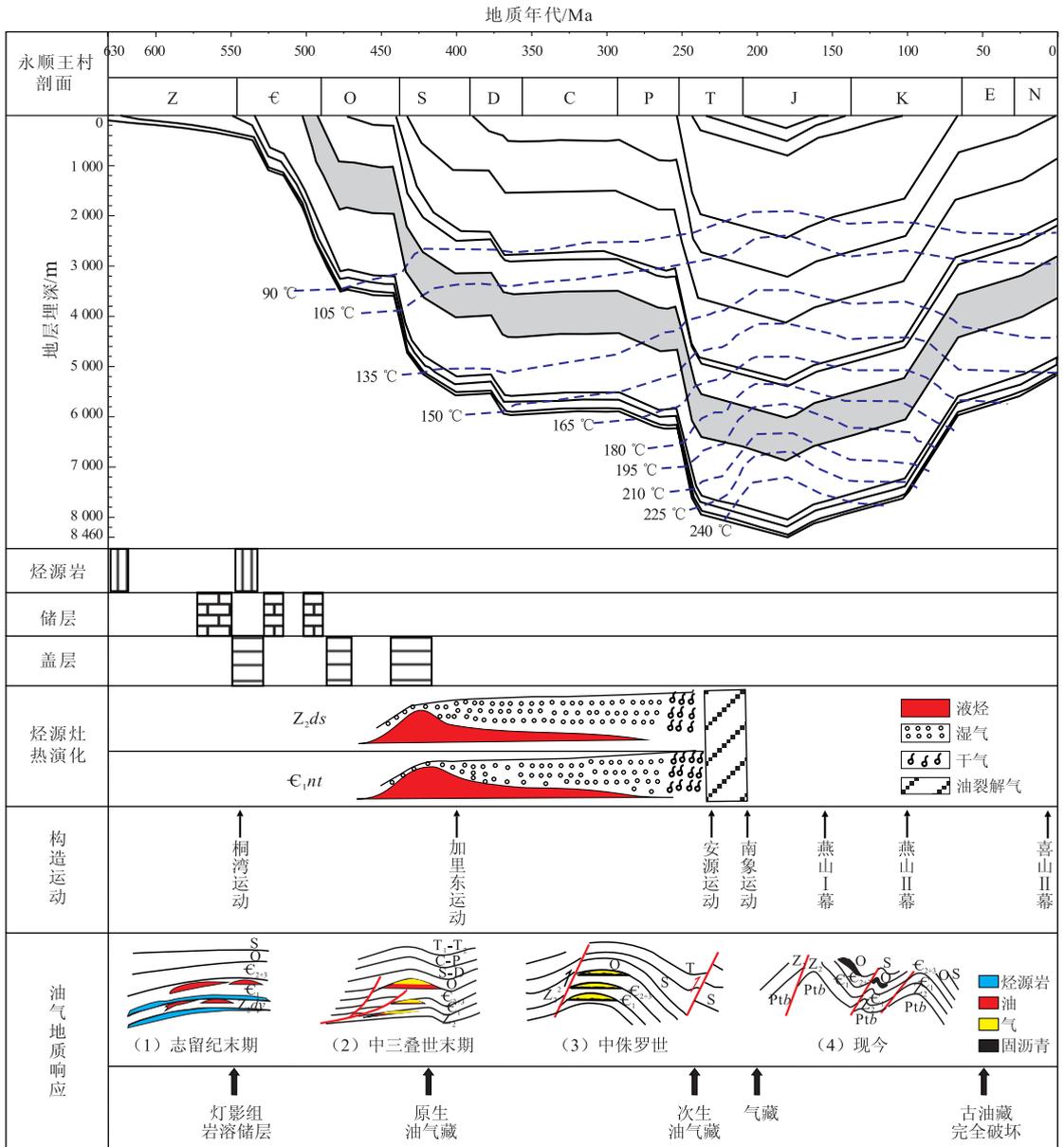


图 5 中扬子区王村上寒武统古油藏成藏模式

Fig. 5 Accumulation model of Upper Cambrian ancient reservoir in Wangcun, middle Yangtze region

部,在中奥陶统并未发现固体沥青;上震旦统和下寒武统储层中油气沿着断裂缝,运移至上寒武统追屯组并聚集成藏。随着油气的充注,储层中开始形成含烃包裹体,包裹体多数分布在方解石脉体或白云岩中。该期含烃盐水包裹体和共生盐水包裹体的均一温度在 150~175 °C。另外,永顺王村古油藏中固体沥青富集于上寒武统储层,其与下寒武统原生油藏之间有巨厚的中下寒武统,加里东末期的构造运动不足以形成大的断裂,大量的油气无法垂向运移聚集成藏。因此,王村上寒武统古油藏应属于印支运动产生了垂向断层、油气向上运移形成的次生油藏。

中三叠世末期的印支运动主幕使该区大范围

抬升成陆,进入晚三叠世和早侏罗世发育了一系列的山间盆地^[16],桑植—石门地区就是其中一个盆地。中三叠世,中扬子板块南缘构造与前陆盆地类似,鹤峰—桑植一线为一个沉降中心,上寒武统古油藏深埋 6 000 m 左右,古油藏发生裂解。至晚三叠世,古油藏达到裂解高峰期,原油裂解型烃源灶成为此阶段的主要供烃灶;早侏罗世,油藏彻底转变成成为纯气藏和固体碳质沥青。该阶段充注储层流体主要为气态烃,储层中主要捕获气烃包裹体和含烃盐水包裹体,气烃包裹体粒径较小,无荧光显示。本期含烃盐水包裹体和共生盐水包裹体均一温度较高,主要在 185~210 °C,反映出原油裂解达到的温度。

4.3 燕山期—喜马拉雅期:古油藏破坏

中侏罗世末,随着燕山Ⅱ幕爆发,中扬子南缘江南—雪峰造山带和北部秦岭—大别造山带强烈造山,中扬子区在剧烈隆升的同时,横向上发生强烈的变形和变位,表现为强烈的褶皱和冲断,强烈的改造使之成为残留盆地。同时,由于断层发育且不断延伸以至断层切穿地表,同时构造抬升迫使上覆地层强烈剥蚀,先前油气藏失去有效的封盖条件,油气不断散失;未破坏的油气藏也发生迁移和变位。晚燕山期—早喜山期,由于应力性质发生转变,研究区一部分断层由挤压性转变为张裂性断层,断层的开合加速油气的散失,最后在晚喜山期的挤压应力下进一步改造,油气散失殆尽,最终残留下固体沥青。江南—雪峰隆起周缘古油藏在这一时期基本被破坏,例如王村附近南山坪古油藏,凤凰阿拉营西中上寒武统古油藏,通山古油藏^[21]以及黔中古隆起麻江古油藏^[22]等。

5 结论

永顺王村上寒武统古油藏为一次生古油藏,加里东期湘鄂西区下寒武统的烃源岩达到生油高峰期,油气主要聚集在该区附近的斜坡地区。印支期,由于古特提斯洋的关闭,华南板块、扬子板块、华北板块逐渐拼接为一体,在拆离构造的背景下江南—雪峰造山带形成,同时永顺王村上寒武统古油藏在断层沟通下形成;中三叠世末期,桑植—石门地区由于重力负荷形成挠曲盆地,王村周边快速深埋,古油藏中的原油大量裂解,至早燕山末期,古油藏彻底变为气藏。中侏罗世,挤压应力进一步加强,拆离构造强化,多数断层切穿至地表,王村上寒武统古油藏开始瓦解,江南—雪峰一带的古油藏群无一幸免。喜山期,江南—雪峰一带多数逆冲断层逐渐反转成为张性的正断层,加速油气的散失速度。晚喜山期挤压应力叠加改造,古油藏彻底被破坏殆尽,仅残留下固体沥青,成为现今唯一可追溯地史中的古油藏存在的唯一证据。

参考文献:

- [1] 赵文智,何登发,宋岩,等. 中国陆上含油气盆地石油地质特征[J]. 地质论评,1999,45(3):20—28.
[2] 戴少武,贺自爱,王津义. 中国南方中、古生界油气勘探的思

路[J]. 石油与天然气地质,2001,22(3):195—202.

- [3] 赵文智,张光亚,王红军,等. 中国叠合含油气盆地石油地质基本特征与研究方法[J]. 石油勘探与开发,2003,30(2):1—8.
[4] 赵宗举,朱琰,邓红婴. 中国南方古隆起对中、古生界原生油气藏的控制作用[J]. 石油实验地质,2003,25(1):10—17.
[5] 赵宗举,朱琰,徐云俊. 中国南方古生界—中生界油气藏成藏规律及勘探方向[J]. 地质学报,2004,78(5):710—717.
[6] 徐思煌,袁彩萍,梅廉夫. 叠合盆地成藏流体源类型、演化及控藏意义:以中国南方中、古生界海相地层为例[J]. 地质科技情报,2007,26(2):59—63.
[7] 郭彤楼,田海芹. 南方中生界油气勘探的若干地质问题及对策[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):244—247.
[8] 金之钧,周雁. 我国南方王村上寒武统大型古油藏的首次发现[J]. 天然气地球科学,2009,20(2):159—161.
[9] 戴金星. 威远气田成藏期及气源[J]. 石油实验地质,2003,25(5):473—480.
[10] 刘树根,马永生,蔡勋育,等. 四川盆地震旦系下古生界天然气成藏过程和特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(4):345—354.
[11] 赵宗举,冯加良,陈学时,等. 湖南慈利灯影组古油藏的发现及意义[J]. 石油与天然气地质,2001,22(2):114—118.
[12] 梁狄刚,陈建平. 中国南方高、过成熟区海相油源对比问题[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2):8—14.
[13] 孙玮,刘树根,马永生,等. 四川盆地威远—资阳地区震旦系油裂解气判定及成藏过程定量模拟[J]. 地质学报,2007,81(8):1153—1158.
[14] 李艳霞,钟宁宁. 川东石炭系气藏中固体沥青形成机理探讨[J]. 石油实验地质,2007,29(4):402—404.
[15] 李艳霞,钟宁宁. 川东石炭系原油裂解型气藏成藏史分析[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):274—279.
[16] 戴俊生,马占荣,冀国盛,等. 扬子板块中部南山坪背斜的形成与演化[J]. 中国地质,2003,30(4):367—371.
[17] 侯光久. 江南古陆的构造属性讨论:以湖南马底驿地区板溪群为例[J]. 地质科技情报,1998,17(3):1—6.
[18] 冯向阳,孟宪刚,邵兆刚,等. 雪峰山陆内造山带变形特征及挤压推覆—伸展滑脱构造的物理模拟[J]. 地球学报,2001,22(5):419—424.
[19] 丁道桂,郭彤楼,刘运黎,等. 对江南—雪峰带构造属性的讨论[J]. 地质通报,2007,26(7):501—509.
[20] 刘新民,付宜兴,郭战峰,等. 中扬子区南华纪以来盆地演化与油气响应特征[J]. 石油实验地质,2009,31(2):160—165.
[21] 李艳霞,郭云飞,李净红. 鄂东南通山半坑志留系古油藏成藏解剖[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2009,24(6):5—8.
[22] 向才富,汤良杰,李儒峰,等. 叠合盆地幕式流体活动:麻江古油藏露头与流体包裹体证据[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2008,38(S1):70—77.

(编辑 徐文明)