

文章编号: 0253-9985(2009)03-0300-10

塔河地区三叠系油气充注幕次划分与成藏时期确定

吕海涛¹, 陈红汉^{2,3}, 唐大卿³, 马黎³

(1. 中国石油化工股份有限公司西北分公司石油勘探开发研究院, 新疆乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 中国地质大学资源学院石油系, 湖北武汉 430074)

摘要: 受区域构造“跷跷板”运动和断裂输导体系控制, 塔河地区三叠系经历了比较复杂的油气成藏过程。通过 291 块流体包裹体样品的系统分析, 运用油包裹体荧光颜色、均一温度统计分布以及埋藏史投影法获得了工区三叠系各充注幕次的充注年龄和成藏期次, 并确定了其油气成藏时期。结果表明, 工区三叠系上、中、下油组均可划分出 3 幕油气充注, 但北部的于奇地区为早期 (40~7.5 Ma) 3 幕不连续充注成藏, 中南部为晚期 (11~0.9 Ma) 3 幕连续充注成藏。由此认为, 塔河地区三叠系发育“沟源”断层的盐边、盐上构造带和岩性上倾尖灭带应是下一步勘探的有利目标。

关键词: 流体包裹体; 成藏模式; 油气成藏期次; 三叠系; 塔河地区

中图分类号: TE122.3 文献标识码: A

Determination of hydrocarbon charging events and timing of accumulation in the Triassic of Tahe area, the Tarim Basin

Lü Haitao¹, Chen Honghan^{2,3}, Tang Daqing³, Ma Li³

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Urumqi

Xinjiang 830011, China; 2. Institute of Geology & Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Department of Petroleum Geology, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract Controlled by regional “seesaw” tectonic movements and the fault carrier system, the Triassic of the Tahe area experienced a very complicated hydrocarbon accumulation process. In this study, we systematically analyzed 291 fluid inclusion samples. The hydrocarbon charging events and timing of accumulation in the Triassic were determined according to the fluorescent colors of oil inclusions and through projecting the homogenization temperature on burial history. The results show that each of the upper, middle and lower oil layers in the Triassic were charged in three stages. The reservoirs in the northern Yuqi area were charged in the earlier (40–7.5 Ma) three discontinuous stages, while the reservoirs in the central-south area were charged in the later (11–0.9 Ma) three continuous stages. Based on these understandings, we have proposed that the perisalt and suprasalt structural zones and lithological updip pinchout zones are the favorable targets for further exploration.

Key words fluid inclusion; accumulation mode; hydrocarbon accumulation stage; Triassic; Tahe area

1 地质背景

塔河地区位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起中南部 (图 1)。印支期, 南天山陆内造山带的褶皱-冲断作用形成巨型构造负载, 使塔里木北

部岩石圈发生挠曲沉降, 形成库车前陆盆地、沙雅前缘隆起及阿-满克拉通内挤压拗陷。盆地以内陆湖盆沉积为主。三叠纪, 工区位于沙雅隆起带的南部斜坡上, 属前陆盆地系统的前隆斜坡带, 物源主要来自前陆隆起。岩心观察、层序地层学和沉积微相分析^[1~3]认为, 三叠纪塔河地区主要发

收稿日期: 2008-12-29。

第一作者简介: 吕海涛 (1977—), 男, 工程师, 油气勘探。

基金项目: 教育部科学技术重点项目 (106113); 湖北省自然科学基金计划项目 (2007ABC013)。

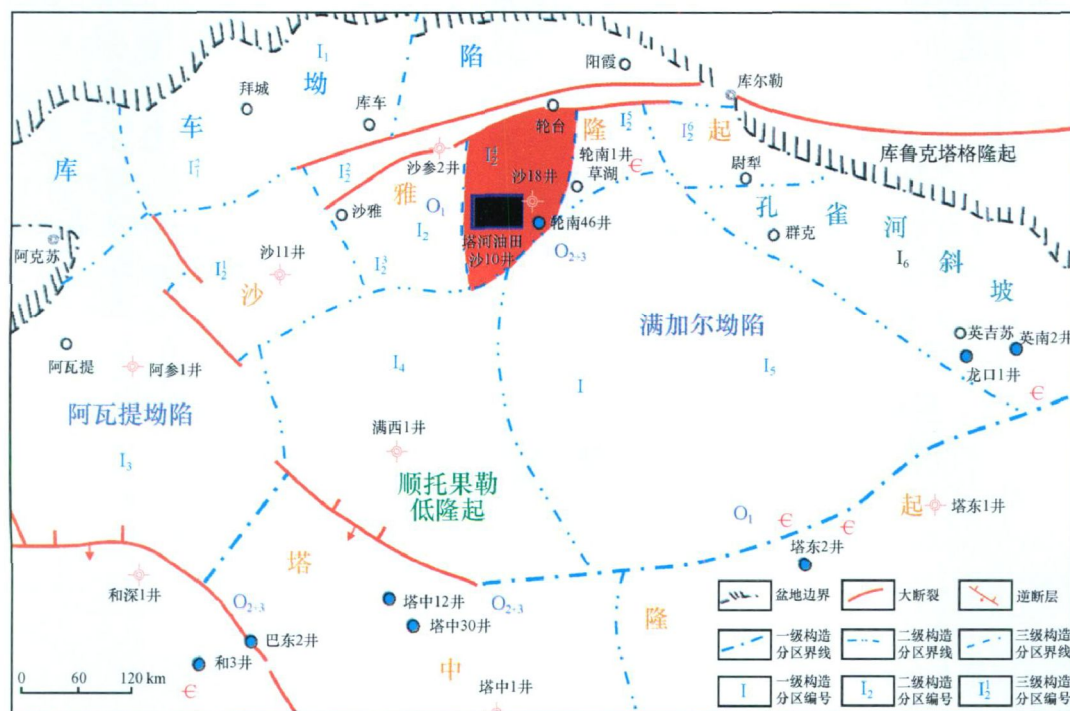


图 1 塔里木盆地构造轮廓与工区位置

Fig. 1 Regional structural configuration of the Tarim Basin and location of the study area

I_1^1 . 沙山凸起; I_2^2 . 雅克拉断凸; I_3^3 . 哈拉哈塘凹陷; I_4^4 . 阿克库勒凸起; I_5^5 . 草湖凹陷; I_6^6 . 库鲁勒鼻凸

育辫状河-三角洲-浅湖-半深湖和湖底扇沉积体系,沉积了深灰-灰黑色泥岩夹粉-细砂岩岩性组合,与下伏地层呈区域不整合接触^①。地层自下而上为柯吐尔组 (T_1k)、阿克库勒组 (T_2a)和哈拉哈塘组 (T_3h),由 6 个三级层序组成^②,发育下油组 (T_2a^1)、中油组 (T_2a^3)和上油组 (T_3h) 3 套较好的储盖组合^④。燕山期,随着盆地南部昆仑造山带挤压作用递进发展,在塔北由北高南低的原始地貌状态开始向北低南高的背景转化,但阿克库勒凸起则主要表现为夷平作用,由二叠系顶部的 T_0^5 古侵蚀面构造图可知阿克库勒地区总体仍呈北高南低^③。喜马拉雅期,印度陆块向北发生陆-陆碰撞,造成最为强烈的一次挤压作用,使得塔里木盆地三叠统地层由前期区域南倾变为区域北倾。这种“跷跷板”式的构造运动对古生界油气藏调整改造和中生界三叠系油气藏的形成均具有重要影响,主要体现在:①三叠系区域性油气运移指向由先期的向北变为向南;②南部的构造抬升和石炭系岩盐

构造活动,造成下伏地层,特别是奥陶系地层已聚集油气沿着沟源断裂向上运聚,形成次生油气藏。

2 油气充注幕次划分

油气充注幕次划分和成藏时期确定对分析勘探目标圈闭是否有效捕获油气至关重要^[5~10]。前人运用多种方法来确定塔里木盆地三叠系油气成藏期次和时期。其中,露点压力法确定塔里木盆地 1 区和 2 区三叠系油气成藏时期为燕山期-喜马拉雅末期^①。运用流体包裹体方法^④获得的工区三叠系油气充注时期为 12~2 Ma,即中新世-上新世(2 区 T204 井 12~2 Ma,1 区和 9 区各井 9~2 Ma);自生伊利石 Ar-Ar 法^④获得的成藏时间为 12.5~10.9 Ma。结合三叠系原油与奥陶系原油物性和成熟度参数的对比认为,奥陶系原生油藏两期充注的石油,经后期调整和原油再分配,一次性注入而形成三叠系次生油藏^④。流体包裹体方法确定

① 顾忆,秦建中,黄继文.塔里木盆地储层流体地球化学研究.中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所,2003

② 郭建华.阿克库勒地区三叠系层序地层与沉积相研究.中南大学,2006

③ 赵锡奎,李坤,何建军,等.阿克库勒凸起大型复式油气藏构造演化与圈闭条件研究.成都理工大学,2007

④ 王铁冠,张达景.塔里木-塔中-塔西南地区成藏地球化学与油源对比研究.中国石油大学(北京)地球化学实验室,2005

于奇地区至少存在两期油气充注: 第一期为喜马拉雅早期 (57.8~32.0 Ma), 第二期为喜马拉雅晚期 (30.1~5.6 Ma)^①。

由此可见, 前人运用不同方法对塔河地区三叠系不同井区油气成藏期次和时期确定的结果之间还存在差异。最为突出的是塔河 2 区和于奇地区发育燕山期—喜马拉雅早期的油气充注^{②③}与认为只有中新世—上新世一期充注^④存在矛盾。主要原因有两点: 一是当时分析的样品还太少, 得出“三叠系油层镜下观测都只见到一期流体包裹体^④”的结论是不全面的; 二是 T204 井上油组油藏砂岩自生伊利石 Ar-Ar 法定年获得的成藏时间除了 12.5~10.9 Ma 年龄段之外, 在 60~30 Ma 年龄段也存在油气充注 (图 2), 当时没有引起研究者的注意^③。

本研究系统采集和分析了工区三叠系 291 块流体包裹体样品, 并根据油包裹体捕获的岩相学序次和荧光颜色^[11~13], 判断其具有 3 幕次油气充注 (图 3)。从检测概率来看, 第一幕次占

14.98%, 第二幕次占 47.37%, 第三幕次占 37.65%。因此认为, 工区三叠系以第二幕和第三幕充注成藏为主 (占 85%), 反映了以晚期、高成熟度油气充注成藏为主的特征。

三叠系各油组油包裹体和同期盐水包裹体均一温度统计直方图及其平均值分布表明, 尽管不同油组在不同井区充注幕次存在差异, 但总体发育 3 幕油气充注的证据是确凿的 (图 4), 也与上述的荧光观察结果一致。同时, 中油组均一温度要比上、下油组均来得高些, 说明了造成中油组油质轻的重要原因之一是, 中油组第一幕充注比上、下油组油质要轻很多, 第二幕和第三幕它们之间的差异变小。由此推测, 中油组可能与上、下油组具有不同的、且更轻质的下伏“油源”。

3 油气成藏时期确定

成岩流体包裹体作为确定油气成藏时期的方法得到了广泛应用^[11,12], 但迄今还没有形成一个

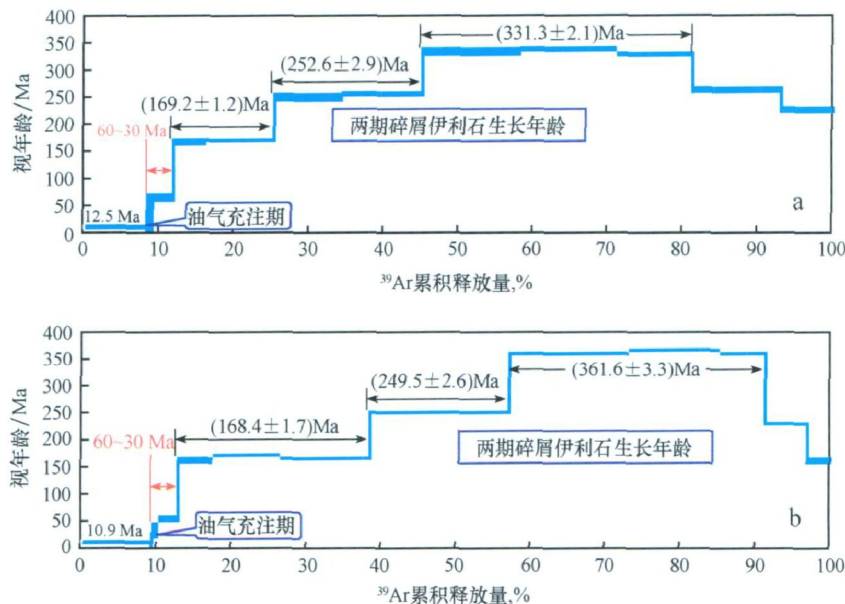


图 2 T204 井上油组 (T_3h) 油砂伊利石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年龄谱图^③

Fig. 2 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ chronological spectrum of authigenic illite in the T_3h oil-bearing sandstones of the Well T204

(Ar-Ar 法定年确认 T204 井 T_3h 上油组油气充注年龄为 12.5 Ma 和 10.9 Ma.)

① 黄太柱, 黄宗和, 旷理雄, 等. 塔里木盆地阿克库勒凸起于奇地区油气成藏特征与目标评价研究. 中石化西北分公司勘探开发研究院, 2006

② 顾忆, 秦建中, 黄继文. 塔河地区储层流体地球化学研究. 中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所, 2003

③ 王铁冠, 张达景. 塔河-塔中-塔西南地区成藏地球化学与油源对比研究. 中国石油大学 (北京) 地球化学实验室, 2005

④ 张达景, 张卫彪. 阿克库勒凸起油气运聚与成藏模式研究. 中国石化石油勘探开发研究院, 2007

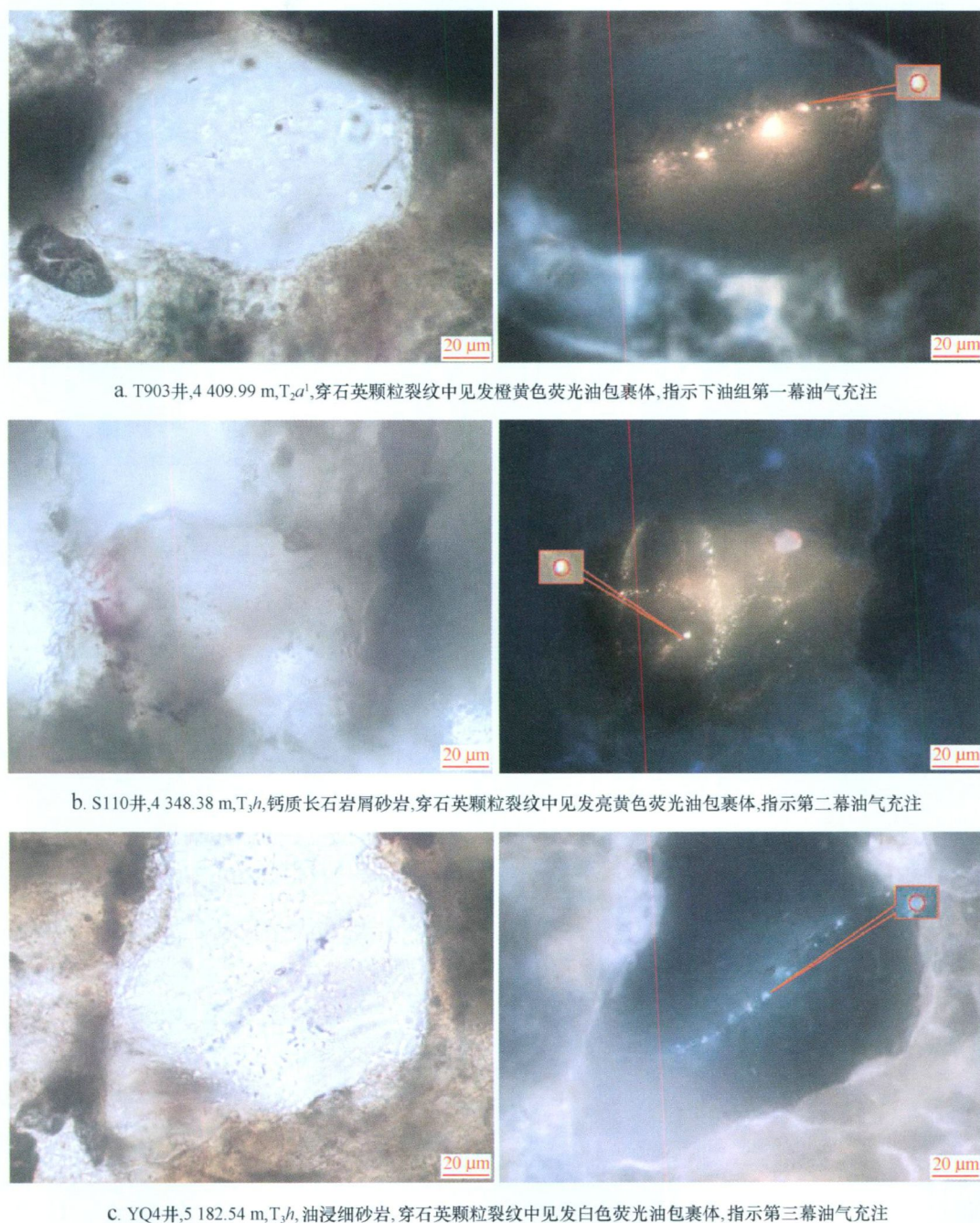


图 3 塔河地区三叠系代表性流体包裹体产状及油包裹体荧光颜色

Fig. 3 Occurrences of the representative fluid inclusions and the fluorescence colors of oil inclusions in the Triassic of Tahe area

(橙黄色、亮黄色和蓝白色荧光分别指示第一、第二和第三幕次油气充注。左为透射光, 右为荧光。)

规范的技术。本研究采取的技术流程是:

1) 系统采集研究工区 291 块流体包裹体样品, 做到了平面上、层位上样品合理分布, 以保证获取包裹体信息密度;

2) 采样的原则之一是要选取胶结物发育的样品, 通过对手标本样品进行包括岩性、裂缝及充填物、胶结物等的岩石学描述, 并照相以备制片时

选择切割部位之用;

3) 首先对双面抛光包裹体片子进行有机包裹体(油、天然气和沥青)产状、荧光颜色和微束荧光光谱观测、GOI(单个石英颗粒含油指数)测定, 然后才脱片, 选择流体包裹体组合(FA)进行有机流体包裹体和同期盐水包裹体显微均一温度、盐度测定, 再照相和作观察记录;

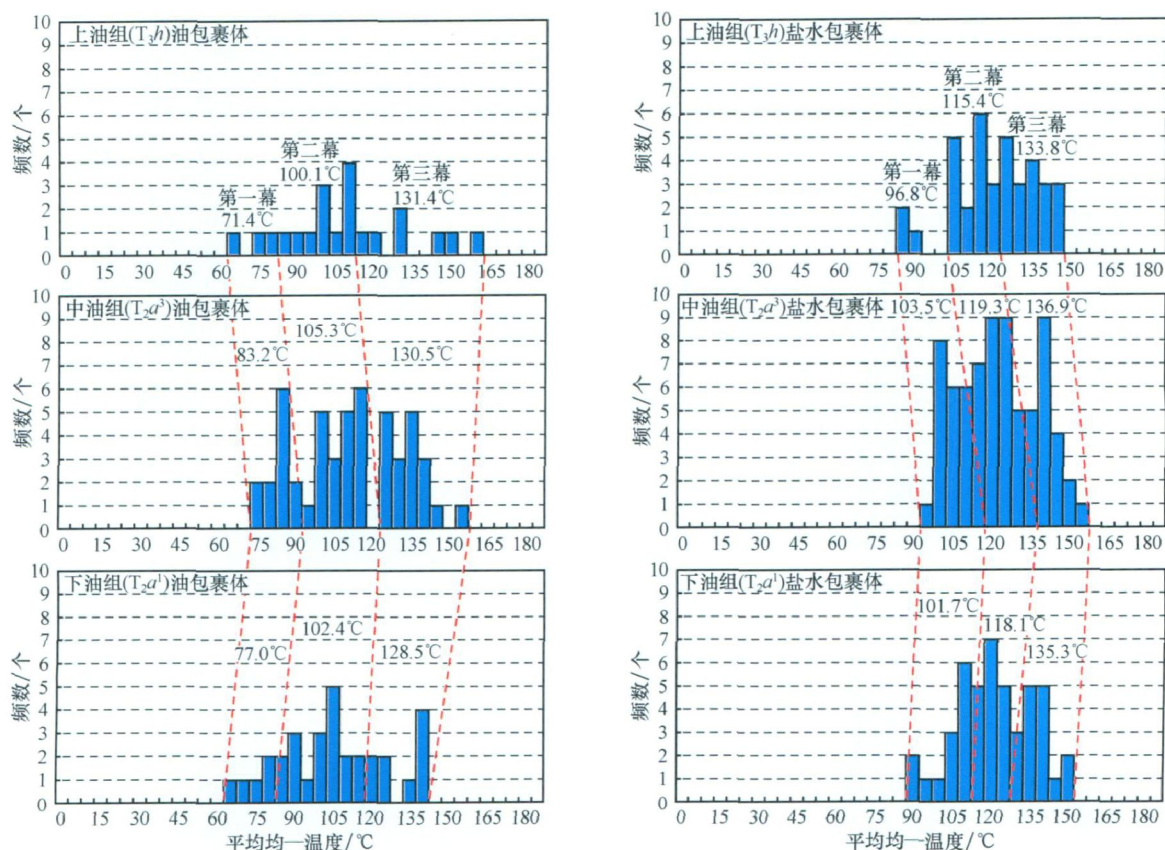


图 4 塔河地区三叠系油包裹体均一温度 (左) 和同幕盐水包裹体均一温度 (右) 统计直方图及平均均一温度分布比较

Fig. 4 Homogenization temperature histograms and average values of oil inclusions (left) and the coeval aqueous inclusions (right) in the Triassic in Tahe area

4) 根据烃类包裹体的荧光颜色、微束荧光光谱红绿商 Q 值等以及与之共生的盐水包裹体的均一温度综合划分油气充注幕次;

5) 将发育“烃类包裹体-同期盐水包裹体”的盐水包裹体均一温度投影到精细埋藏史图上, 以获得各个充注幕次的充注年龄;

6) 为了消除样品深度差异的影响, 需要将各充注年龄再统一投影到同一时间轴上, 这样才能够划分油气成藏期次和确定油气成藏时期。

本文就是运用此方法, 获取了工区三叠系油气充注年龄 (图 5)。各个样品的显微测温数据因过于庞大, 超出了本文篇幅, 在此就未列出, 只是将工区三叠系上、中、下 3 个油组的各井投影均一温度获得的各期次充注年龄列于表 1—表 3 中。

从图 5 可看出, 塔河地区三叠系各油组均发育 3 幕油气充注, 从时间上可归结为早、晚两期成藏。具体表现在:

1) 上油组 (T_3h) 可分为两个不同的油气充注区域: 一是于奇地区检测到早期 3 幕油气充注, 其中第一幕充注在 31.8~29.1 Ma、平均 30.6 Ma 第二

幕充注在 24.5 Ma 第三幕充注在 8.2~6.8 Ma、平均 7.5 Ma 二是除了于奇之外的塔河地区同样发育晚期 3 幕油气充注, 第一幕充注在 6.7~3.2 Ma、平均 4.9 Ma 第二幕充注在 5.1~2.1 Ma、平均 3.5 Ma 第三幕充注在 2.9~0.1 Ma、平均 1.6 Ma。

2) 中油组 (T_2a^1) 同样可分为两个不同的油气充注区域: 一是于奇地区检测到早期 3 幕油气充注, 其中第一幕充注在 40.0~35.9 Ma、平均 37.3 Ma 第二幕充注在 18.4 Ma 第三幕充注在 10.5 Ma 二是除了于奇之外的塔河地区也发育晚期 3 幕油气充注, 第一幕充注在 10.8~4.2 Ma、平均 7.3 Ma 第二幕充注在 6.7~1.7 Ma、平均 3.7 Ma 第三幕充注在 2.9~0 Ma、平均 1.0 Ma。

3) 下油组 (T_2a^2) 也分为两个不同的油气充注区域: 一是于奇地区下油组仅检测到早期第三幕油气充注在 8.2 Ma 二是除了于奇之外的塔河地区下油组也发育晚期 3 幕油气充注, 第一幕充注在 10.0~4.5 Ma、平均 6.7 Ma 第二幕充注在 5.0~1.8 Ma、平均 3.2 Ma 第三幕充注在 1.3~0.2 Ma、平均 0.9 Ma。

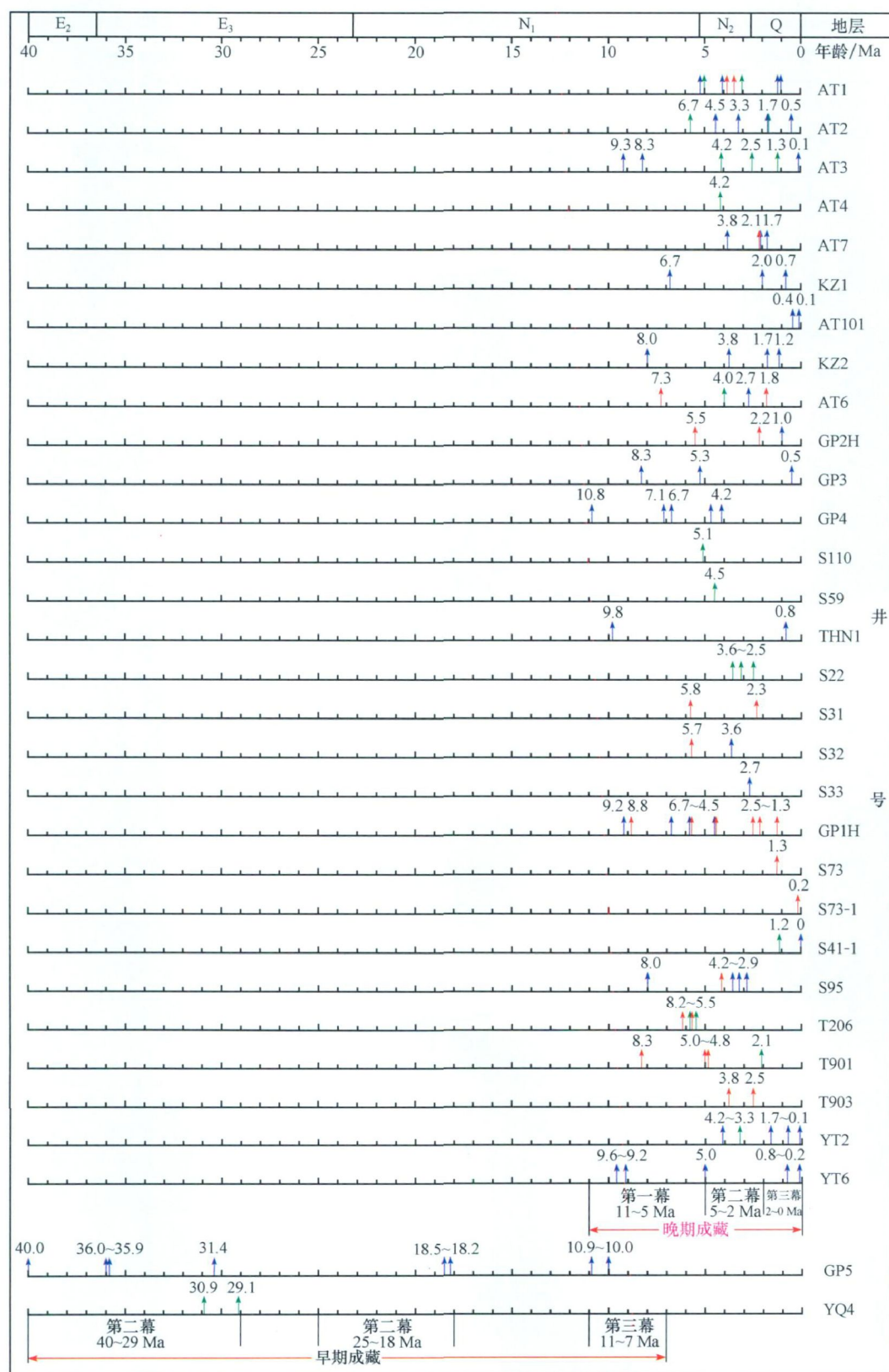


图 5 均一温度-埋藏史投影法获得塔河地区三叠系油气充注年龄分布确定油气成藏时期

Fig. 5 Timing of hydrocarbon accumulation in the Triassic through projecting homogenization temperature on the burial history diagrams

表 1 均一温度-埋藏史投影法获得的塔河地区三叠系上油组 (T_3h) 油气充注年龄

Table 1 Hydrocarbon charging ages for the upper oil layer of the Triassic in the Tahe area determined through projecting burial history on the homogenization temperature diagrams

样品号	深度 /m	第一幕		第二幕		第三幕	
		平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma	平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma	平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma
AT1- 1	4 084. 40			100. 9/117. 9	3. 1		
AT1- 2	4 085. 96	94. 4/108. 4	5. 0				
AT2- 2	4 036. 66					107. 9/124. 4	1. 7
AT2- 5	4 093. 02	62. 5/101. 6	6. 7				
AT3- 1	3 974. 74			96. 8/112. 9	4. 2		
AT3- 2	3 976. 91			90. 7/119. 4	2. 5		
AT3- 3	3 978. 44					109. 9/128. 1	1. 3
AT4- 1	3 981. 54			106. 7/113. 7	4. 2		
AT4- 2	3 982. 79					117. 2/124. 7	2. 0
AT6- 3	4 112. 66			101. 2/113. 8	4. 0		
S22- 1	4 220. 95					122. 9/126. 2	1. 5
S22- 2	4 222. 65	72. 5/105. 6	3. 6	92. 5/115. 3	2. 5		
S22- 3	4 304. 32	75. 9/113. 1	3. 2				
S22- 4	4 310. 07					126. 9/132. 8	0. 1
S32- 1	4 190. 79			116. 3/119. 1	3. 6		
S41- 1- 5	4 409. 41					97. 6/122. 7	1. 2
S59- 6	4 017. 86	82. 9/109. 2	4. 5				
S110- 1	4 348. 38			105. 7/112. 8	5. 1		
T206- 9	4 440. 80					126. 4/135. 4	2. 1
T206- 10	4 441. 67	89. 3/105. 4	5. 8				
T206- 11	4 442. 52					121. 7/128. 4	2. 9
T206- 13	4 444. 77	81. 8/106. 5	5. 5				
T901- 1	4 393. 59			104. 6/125. 9	2. 1		
YT2- 1	4 227. 00			106. 8/117. 4	3. 3		
YQ4- 1	5 181. 03	114. 0/128. 3	29. 1				
YQ4- 2	5 182. 54	110. 1/126. 9	30. 9				
YQ4- 3	5 185. 34			126. 9/135. 5	24. 5		
GP5- 1	5 033. 15					142. 6/154. 8	6. 8
GP5- 2	5 034. 80					149. 7/153. 8	8. 2
GP5- 3	5 038. 51	120. 9/121. 6	31. 8				

注: 表中均一温度数据为油包裹体均一温度/同幕盐水包裹体均一温度。

表 2 均一温度-埋藏史投影法获得的塔河地区三叠系中油组 (T_2a^3) 油气充注年龄

Table 2 Hydrocarbon charging ages for the middle oil layer of the Triassic in the Tahe area determined through projecting burial history on the homogenization temperature diagrams

样品号	深度 /m	第一幕		第二幕		第三幕	
		平均均一温度 / $^{\circ}\text{C}$	充注年龄 /Ma	平均均一温度 / $^{\circ}\text{C}$	充注年龄 /Ma	平均均一温度 / $^{\circ}\text{C}$	充注年龄 /Ma
AT1- 3	4231.08	86.3/108.5	5.0			105.4/137.2	1.0
AT1- 6	4257.34	93.0/113.1	4.2				
AT1- 9	4263.52					96.5/133.3	1.2
AT1- 10	4264.17					109.0/137.1	1.0
AT2- 6	4247.31					89.6/137.3	0.5
AT2- 8	4250.88	94.4/110.3	4.5				
AT2- 10	4258.85					86.6/128.9	1.7
AT2- 11	4260.15			102.4/118.3	3.3		
AT3- 8	4155.56	75.3/100.2	8.3			130.2/137.2	0.1
AT3- 9	4157.20	84.1/99.0	9.3				
AT6- 6	4260.02			105.7/122.5	2.7		
AT7- 1	4180.32					103.0/128.8	1.7
AT7- 9	4204.24			85.7/116.3	3.8	106.8/147.3	
AT7- 10	4206.60			107.0/124.7	2.1		
AT101- 4	4277.27					126.7/138.5	0.1
AT101- 5	4278.36					126.2/136.2	0.4
GPIH- 1	4460.09	84.1/105.1	6.7				
GPIH- 2	4462.22	76.0/94.9	9.2				
GPIH- 4	4475.59	61.6/110.4	4.6				
GP2H- 1	4411.92					106.1/130.0	1.0
GP3- 1	4250.00	80.6/109.9	5.3				
GP3- 2	4257.09					114.5/138.2	0.5
GP3- 3	4259.30	85.2/101.5	8.3				
GP4- 2	4165.64			99.9/114.5	4.2		
GP4- 4	4168.81	73.7/95.9	10.8	98.3/105.4	6.7		
GP4- 6	4172.20	87.2/103.6	7.1				
GP4- 8	4177.19			95.5/111.5	4.7		
KZ1- 2	4188.64			76.9/124.8	2.0		
KZ1- 5	4194.56					93.3/130.8	0.7
KZ1- 7	4198.36	87.1/103.6	6.7				
KZ2- 2	4173.75					96.7/126.0	1.7
KZ2- 7	4185.32	70.8/101.2	8.0	91.4/116.7	3.8	108.8/129.4	1.2
S32- 2	4335.28			102.3/122.0	3.6		
S33- 8	4438.85			113.4/128.3	2.7		
S41- 1- 7	4532.32					113.3/129.3	0
S95- 3	4540.62	80.2/97.8	8.0	98.7/119.3	3.6	111.9/125.7	2.9
S95- 4	4542.76			95.5/121.1	3.3		
YT2- 3	4365.45					124.3/136.2	0.8
YT2- 5	4372.00			97.9/124.2	1.7		
YT2- 6	4374.00			100.6/122.4	4.2	113.0/140.9	0.1
YT6- 1	4458.80					110.8/132.6	0.8
YT6- 2	4459.80	83.2/99.6	9.2			112.7/139.1	0.5
YT6- 3	4461.60	84.7/98.0	9.6	101.4/113.2	5.0		
GP5- 4	5119.21	71.1/116.9	35.9				
GP5- 6	5161.81	96.6/116.2	36.0			123.6/151.6	10.9
GP5- 8	5167.07			115.3/143.0	18.2		
GP5- 10	5169.96			113.8/143.4	18.5	139.1/151.9	10.0
GP5- 11	5173.75	84.3/109.3	40.0				

注: 表中均一温度数据为油包裹体均一温度/同幕盐水包裹体均一温度。

表 3 均一温度-埋藏史投影法获得的塔河地区三叠系下油组 (T_2a^1) 油气充注年龄
Table 3 Hydrocarbon charging ages for the lower oil layer of the Triassic in the Tahe area determined through projecting burial history on the homogenization temperature diagrams

样品号	深度 /m	第一幕		第二幕		第三幕	
		平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma	平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma	平均均一温度 /℃	充注年龄 /Ma
AT1- 17	4 311.76			108.3/121.8	3.5		
AT1- 18	4 313.10			101.1/117.1	3.8		
AT6- 7	4 341.97	80.8/103.4	7.3				
AT6- 8	4 345.33	68.9/103.4		109.8/125.9	1.8		
AT7- 12	4 269.40			99.9/124.7	2.1		
GPIH- 7	4 536.62	75.3/108.4	5.8				
GPIH- 9	4 541.92	80.9/110.3	4.5	100.7/126.5	2.2		
GPIH- 10	4 544.09	76.8/102.4	8.8	104.2/123.7	2.5	114.3/131.7	1.3
GPIH- 11	4 546.28	92.5/108.8	5.7				
GP2H- 7	4 474.92			100.6/127.1	2.2		
GP2H- 8	4 477.37	83.0/109.0	5.5				
S31- 5	4 628.51	76.0/112.8	5.8	86.1/128.7	2.3		
S32- 7	4 400.41	95.6/107.9	5.7				
S73- 1- 3	4 833.80					67.5/115.9	0.2
S73- 3	4 826.09					87.8/110.3	1.3
S95- 7	4 596.55			101.9/116.6	4.2		
S95- 9	4 598.48	76.0/89.2	10.0				
T206- 4	4 617.82	93.9/105.7	5.7				
T206- 5	4 620.27	86.1/104.4	6.2				
T901- 7	4 597.68			95.9/104.5	5.0		
T901- 8	4 599.38	77.1/96.5	8.3				
T901- 9	4 601.68			92.2/105.1	4.8		
T903- 2	4 614.07			104.2/120.7	3.8		
T903- 7	4 621.40			113.9/127.3	2.5		
YQ4- 4	5 294.88					143.5/156.4	8.2

注:表中均一温度数据为油包裹体均一温度/同幕盐水包裹体均一温度。

4 结论

1) 受早期南倾和晚期北倾的构造格局所控制,塔河地区三叠系油气成藏可划分为两个独立的成藏系统。一是于奇地区三叠系成藏系统,发育 3 幕油气充注,且油气成藏时期比较早。第一幕油气充注介于 40~29 Ma 平均年龄 37.3~30.6 Ma 第二幕油气充注介于 25~18 Ma 平均年龄 24.5~18.4 Ma 第三幕油气充注介于 11~7 Ma 平均年龄 10.5~7.5 Ma。总体表现出不连续充注的特点。二是除了于奇地区之外的塔河其他地区三叠系油气成藏系统,虽然也发育 3 幕油气充注,但总体表现出连续充注和晚期成藏的特

点。第一幕油气充注介于 11~5 Ma 之间,平均年龄 7.3~4.9 Ma 第二幕油气充注介于 5~2 Ma 之间,平均年龄 3.7~2.1 Ma 第三幕油气充注介于 2~0 Ma 之间,平均年龄 1.6~0.9 Ma。

2) 于奇地区三叠系第三幕充注与塔河其他地区三叠系第一幕充注在时间上基本同步,说明塔河地区北部成藏时期较早,且具有不连续充注成藏特点;而中、南部成藏时期较晚,主要发生在中新世—第四纪,且表现出连续充注成藏特点。

3) 塔河地区三叠系构造型油气藏^[14-15]主要分布于“沟源”断裂发育东达里亚、西达里亚、塔河 1 塔河 2 塔河 9 区和轮南地区,同走向断接式断层输导体系发育的盐边及盐上地区是勘探的重点;岩性油气藏^[15-17]勘探领域比较有利的地区主

要分布在于奇西地区、托甫台地区和盐上地区。其中, 盐上地区岩性上倾尖灭式圈闭在沉积时期是岩性向南下倾尖灭, 喜马拉雅期因地层北倾而形成岩性向北上倾尖灭, 是晚期油气运聚指向区域。塔河地区西北部随着喜马拉雅运动造成地层区域性北倾而处于高位能区, 不是油气运聚指向, 晚期难以成藏。

参 考 文 献

- 1 张希明, 王恕一. 塔里木盆地北部三叠系辫状三角洲砂体储层非均质性研究 [J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 201~207
- 2 吕雪雁, 朱筱敏, 申银民, 等. 塔里木盆地台盆区三叠系层序地层研究和有利勘探区预测 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 32~35
- 3 刘辰生, 田永强, 郭建华. 阿克库勒地区三叠系储集层成岩作用 [J]. 新疆石油地质, 2005, 26(1): 62~64
- 4 丁勇, 邱芳强, 高玄. 塔河油田三叠系油气藏特征及成藏规律 [J]. 西部油气地质, 2006, 2(3): 257~260
- 5 Burruss R C. Practical aspects of fluorescence microscopy of petroleum fluid inclusions [J]. SEPM Short Course, 1991, 25(1): 1~7
- 6 Eadington P J Lisk M, Krieger F W. Identify oil well sites [Z]. Australia United States Patent Application, 1996 543-616
- 7 Goldstein R H, Reynolds T J Systematics of fluid inclusions in di-

- genetic minerals [Z]. USA: SEPM, 1994
- 8 Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems [J]. Lithos, 2001, 55: 159~193
- 9 Lisk M, Eadington P J O'Brien G W. Timing of oil migration using new methods for mapping hydrocarbon charge [Z]. Geofluids II '97 Extended Abstract, 2003: 26~29
- 10 Munz I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematic analytical methods and applications [J]. Lithos, 2001, 55: 195~212
- 11 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 等. 含油气盆地中流体包裹体类型及其地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 491~501
- 12 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 143~150
- 13 徐良, 杨光, 夏淑华. 流体包裹体技术在油气成藏期次研究中的应用——以黑地庙地区为例 [J]. 吉林大学学报 (自然科学版), 2006, 36(增刊): 29~33
- 14 李坤, 赵锡奎, 张小兵, 等. 塔里木盆地阿克库勒凸起油气输导体系类型与演化 [J]. 地质科学, 2007, 42(4): 766~778
- 15 牟泽辉, 熊海河, 朱宏权, 等. 塔里木盆地阿克库勒凸起油气成藏演化 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 228~230
- 16 王晓东, 王玲, 张星海. 塔河 1 号三叠系油气藏特征及成藏机理 [J]. 新疆地质, 2003, 21(2): 240~242
- 17 周永昌, 杨国龙. 塔里木盆地阿克库勒地区油气地质特征及勘探前景 [J]. 石油学报, 2001, 22(3): 1~5

(编辑 李 军)

(上接第 299 页)

质支撑是造成这种变化的主要原因。通过测量结果在纵波速度-泊松比交汇图中的位置可定性确定储层砂岩的孔隙类型及岩石结构特征。

致谢: 在工作过程中, 中石化科技发展部张永刚、许卫平两位教授级高级工程师高工给出较多建议, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳坳陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 85~113
- 2 蔡进功, 谢忠怀, 刘宝军, 等. 胜利油区深部砂岩储集层类型及特征 [J]. 石油学报, 2001, 22(5): 34~37
- 3 邱桂强. 东营凹陷古近系成岩层序特征与储集差异性分析 [J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 915~922
- 4 陈冬霞, 庞雄奇, 翁庆萍, 等. 岩性油气藏三元成因模式及初步应用 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 228~232
- 5 张晶, 王伟峰, 荣启宏, 等. 东营凹陷民丰洼陷沙河街组三段岩性油藏控制因素 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 235~

- 249
- 6 邓继新, 王尚旭, 李生杰, 等. 砂岩储层地震属性参数对孔隙流体的敏感性评价 [J]. 石油学报, 2006, 27(6): 58~62
- 7 李生杰. 岩性、孔隙及其流体变化对岩石弹性性质的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 760~764
- 8 王尚旭. 含气地层弹性性质及其波场响应 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 26(6): 730~735
- 9 袁红军. 东营凹陷博兴洼陷滨浅湖相滩坝砂岩储层预测 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 26(4): 497~503
- 10 邓继新, 史调, 俞军. 流体饱和岩石速度频散研究 [J]. 北京大学学报, 2003, 39(6): 835~843
- 11 Mavko G, Mukerji T, Dvorkin J. The rock physics handbook: tools for seismic analysis in porous media [M]. New York, USA: Cambridge University Press, 1998: 106~160
- 12 Han Dehua. Effects of porosity and clay contents on wave velocities in sandstone and unconsolidated sediments [D]. Stanford University, 1987

(编辑 董 立)

式中: K_{HM} 和 G_{HM} 分别为介质的等效体积和剪切模量; n 为单个颗粒接触面的个数; Φ 为介质孔隙度; R 为颗粒半径; S_n 和 S_t 分别为颗粒接触面的正向与切向刚度, 决定于颗粒接触面的物理条件。

假定颗粒接触面为半径 a 的圆形, 但由于接触面并非完全无相对滑动, 存在一部分区域相对光滑而对切向刚度 S_t 不起作用, 可将对 S_t 起作用的部分等效为半径为 b 的圆, 其值在 $0 \sim a$ 的范围内变化, 这样 S_n 和 S_t 可由以下公式计算^[11]:

$$S_n = \frac{4aG}{1 - \nu} \quad (3)$$

$$S_t = \frac{8bG}{2 - \nu} \quad (4)$$

式中: G 和 ν 分别为组成颗粒的剪切模量与泊松比。

利用公式 (1) 和公式 (2), 弹性介质等效泊松比 (ν_{dy}) 可表示为:

$$\nu_{dy} = \frac{S_n - S_t}{4S_n + S_t} \quad (5)$$

成岩过程中的机械压实作用、胶结作用以及溶蚀作用均可造成颗粒接触边界条件的变化。随埋深的增加, 机械压实作用增强, 最初沉积的碎屑颗粒集合所受的等效压力也逐渐增大, 使得由颗粒边界由点接触逐步变为线接触或面接触, 其实是颗粒接触面的半径 a 增加, 造成介质的体积模量和纵波速度增加 [公式 (1)]; 压力增加也使得颗粒间的摩擦力增大, 等效半径 b 逐渐接近接触面半径 a , 这个过程中剪切刚度 S_t 增加更快, 由公式 (2) 可知泊松比会逐渐降低。胶结物的出现代表机械压实的结束, 其对砂岩泊松比的影响比较复杂, 需要区分胶结物所赋存的位置及其本身的弹性性质。就胶结物而言, 可以充填于颗粒的接触边界, 也可充填于孔隙中, 这两种情况对介质弹性性质的影响是有差异的。按成岩顺序, 硅质胶结最先出现 (暂不考虑早期方解石胶结), 并充填于颗粒的接触边界, 岩石从疏松状态变为弱固结或固结状态。硅质胶结可使相接触的颗粒相互“焊接”在一起, 此时对剪切刚度 S_t 起作用的等效半径 b 与接触面半径 a 近于相等, 泊松比达到稳定值 0.1, 实验样品泊松比的最小值也在 0.1 左右, 对应于高孔隙弱固结砂岩 (图 4)。在这种条件下, 粘土或后期呈孤岛状的钙质胶结物仅充填于孔隙中而起到降低孔隙度、增加孔隙刚度的作用, 但体积模量相对于剪切模量增加更快, 造成泊

松比、纵波速度均随泥质与钙质含量的增加而增加, 表现为图 4 中左下方数据的变化规律。随着泥质与钙质含量的持续增加, 岩石颗粒结构特征会发生转变, 石英、长石颗粒不再紧密接触而“漂浮”于由泥质或钙质胶结物形成的基质中, 砂岩原有的粒状结构会被改变, 此时弹性波的能量是通过基质传播而非颗粒接触边界。在为基质支撑的情况下, 如果基质为泥质, 石英等大的碎屑颗粒不再形成粒间孔隙, 孔隙主要由粘土的微孔隙提供, 致使孔隙度会随泥质含量的增加而增加, 而岩石介质在弹性性质上逐渐接近泥质基质的性质 (高泊松比, 低速度), 趋势 ② 的左上部分正是反映了颗粒支撑逐渐减少而基质支持逐渐增加的过程 (图 4 图 5); 当基质主要为钙质时, 钙质胶结如方解石与白云石并不存在微孔隙, 这样随钙质含量的增加, 最初由石英、长石颗粒形成的孔隙会逐渐减小, 而在弹性性质上则逐渐接近钙质基质的性质, 即接近方解石或白云石晶体的弹性性质 (图 4 图 5)。对钙质胶结的溶蚀作用又会使砂岩向颗粒结构转化, 纵波速度及泊松比降低, 如一些样品所表现出的高钙质含量, 而泊松比、纵波速度却相对较低 (图 4d)。

4 结论

1) 速度-孔隙度、速度-密度关系等统计岩石物理模型具有明显的区域性, 与特定储层岩石的成岩历史有关。

2) 机械压实作用增强会使非固结疏松砂岩的纵波速度增加、泊松比降低, 0.1 可作为研究区内机械压实作用泊松比变化的下限, 也可作为干燥条件下硅质胶结纯砂岩的泊松比。

3) 研究区内固结砂岩纵波速度-泊松比的变化表现出两种主要趋势: 趋势 ① 反映了钙质胶结物含量的影响, 随钙质胶结物含量的增加, 泊松比与纵波速度均呈单调增加趋势, 在这个过程中岩石结构从颗粒支撑逐步转变为钙质基质支撑, 砂岩也逐渐表现出方解石或白云石晶体的弹性性质; 趋势 ② 反映了泥质含量的影响, 随泥质含量的增加, 泊松比呈单调增加趋势, 但纵波速度先增加后减小, 转变位置出现在泊松比约为 0.17 处, 砂岩结构从颗粒支撑逐步演变为由泥质所形成的基

(下转第 309 页)