

文章编号: 0253-9985(2007)06-0784-07

塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式

杨海军^{1,2}, 韩剑发^{1,2}, 陈利新², 邬光辉³, 吉云刚²

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国石油天然气股份有限公司 塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000; 3. 中国石油天然气股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:以塔中古隆起下古生界碳酸盐岩典型油气藏解剖为基础, 充分利用地球化学分析方法, 明确寒武系是塔中海相碳酸盐岩成藏的主力烃源, 塔中下古生界天然气主要为古油藏裂解气。塔中古隆起海相碳酸盐岩具有下生上储、多个储盖组合、多期成藏的复式油气成藏特征。并建立了塔中古隆起海相碳酸盐岩油气复式成藏模式, 明确了礁滩复合体、岩溶不整合、内幕白云岩是塔中古隆起下古生界油气勘探的三大领域。

关键词:碳酸盐岩; 复式成藏; 成藏模式; 塔中古隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Characteristics and patterns of complex hydrocarbon accumulation in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeouplift

Yang Haijun^{1,2}, Han Jianfa^{1,2}, Chen Lixin², Wu Guanghui³, Ji Yungang²

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the analysis of the typical oil and gas pools in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeouplift and by using geochemical analytical methods, that the Cambrian was the major source rock contributing to the marine carbonate reservoirs in Tazhong area and the natural gas in the Lower Paleozoic reservoirs was mainly cracked gases from fossil oil reservoirs were clarified. The marine carbonate reservoirs in the Tazhong palaeouplift was characterized by complex hydrocarbon accumulation features as generated in lower zones and preserved in upper zones, multiple reservoir-cap rock assemblages and multi-stage hydrocarbon accumulation. The complex hydrocarbon accumulation pattern was also established for the marine carbonate reservoirs in the Tazhong Palaeouplift, and three potential exploration targets, namely reef-bank complex, karst unconformity and inner dolomite, were nailed down in the Lower Paleozoic of the Tazhong palaeouplift.

Key words: carbonate rock; complex accumulation; hydrocarbon accumulation pattern; Tazhong Palaeouplift; Tarim Basin

1 优越的成藏地质条件

1.1 区域地质条件有利

1.1.1 具有长期稳定发育的背斜古隆起背景

塔中低凸起是以寒武系—奥陶系为主体的

长期发育的继承性古隆起^[1], 从北至南的次一级构造单元包括塔中 I 号坡折带、塔中北斜坡、中央断垒带和塔中南斜坡, 此外根据塔中 I 号坡折带礁滩体发育程度的不同, 北部礁比较发育的部位命名为外带, 南部以滩为主的地带命名为内带(图1)。

收稿日期: 2007-11-05。

第一作者简介: 杨海军(1970—), 男, 高级工程师, 博士研究生, 石油地质学。

基金项目: 国家基础研究发展规划(973)资助项目(2006CB202300)。

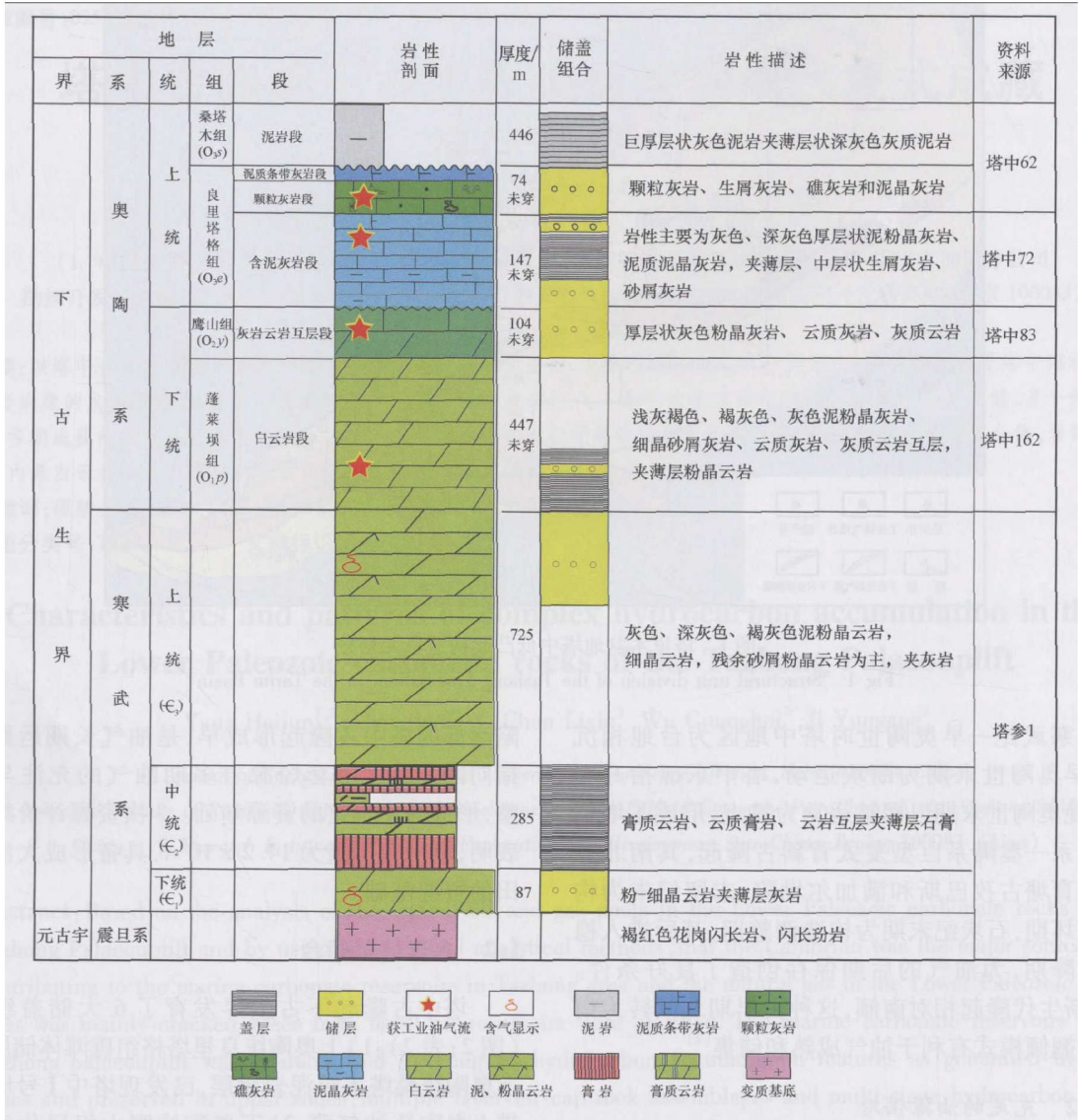


图 2 塔中古隆起下古生界储盖组合柱状图

Fig. 2 Column map showing the Lower Paleozoic reservoir-cap rock assemblage in the Tazhong Palaeo-uplift

表 2 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏储盖组合统计

Table 2 Statistics of reservoir-cap rock assemblages in the Lower Paleozoic carbonate reservoirs of the Tazhong palaeo-uplift

油气藏名称	圈闭类型	储层	盖层
塔中 1 寒武系凝析气藏	潜山	上寒武统白云岩	石炭系中泥岩段
塔中 16 上奥陶统油藏	潜山	上奥陶统灰岩	志留系泥岩
塔中 162 下奥陶统气藏	内幕岩溶	下奥陶统蓬莱坝组白云岩	下奥陶统致密灰云岩
塔中 I 号坡折带上奥陶统油气藏	礁滩复合体圈闭	上奥陶统礁滩相灰岩	上奥陶统泥岩
塔中 83 下奥陶统油气藏	风化壳岩溶	下奥陶统鹰山组灰岩	上奥陶统泥晶灰岩
塔中 4-7-38 上奥陶统油藏	潜山	上奥陶统灰岩	志留系泥岩

层,其中奥陶系潜山又可分为上奥陶统潜山和下奥陶统潜山,目前上奥陶统潜山已发现塔中 16 上奥陶统油藏和塔中 4-7-38 上奥陶统油藏;5)上寒武统潜山与上覆志留系或石炭系泥岩盖层,目前已发现塔中 1 寒武系凝析气藏;6)下寒武统白云岩储层与中寒武统膏岩盖层,塔参 1 井在下寒武统见良好气测显示,目前已成为重要勘探领域。

1.3 油气藏分布特征

从塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏类型统计来看(表 3),下部层系以气藏或凝析气藏为主,上部层系以油藏为主。例如,中央断垒带的塔中 1 井上寒武统为凝析气藏,气油比为 $2\,383\text{ m}^3/\text{m}^3$,原油密度较低,为凝析油;而塔中 4-7-38 井上奥陶统为油藏,气油比只有 $12\text{ m}^3/\text{m}^3$,原油密度为 $0.837\,6\text{ g}/\text{cm}^3$,属于正常油;塔中北斜坡的塔中 161 井和塔中 168 井在上奥陶统均为油藏,而塔中 162 井在下奥陶统蓬莱坝组为纯气藏;塔中 I 号坡折带内带的塔中 58 井和塔中 72 井在上奥陶统发

现为油藏,而内带的塔中 721 井和塔中 83 井在下奥陶统鹰山组为凝析气藏;此外也可以发现,塔中 I 号坡折带上奥陶统凝析气藏的气油比均低于下奥陶统鹰山组凝析气藏的气油比。对于上奥陶统油气藏来说,由北向南从塔中 I 号坡折带外带到内带再到塔中北斜坡具有从凝析气藏向油藏变化的特征。例如,塔中 I 号坡折带外带除塔中 621 井和塔中 54 井的上奥陶统为油藏外,其余均为凝析气藏,到内带的塔中 58 井和塔中 72 井为油藏,再到塔中北斜坡的塔中 161 井和塔中 168 井上奥陶统均为油藏,具有“北气南油”的特点。从油气藏的东西分布来看,塔中主垒带东部的塔中 1 井为凝析气藏而西部的塔中 4-7-38 井为油藏;塔中 I 号坡折带中东段上奥陶统发现的以凝析气藏为主,而西部的塔中 54-塔中 45 井区以油藏或挥发油藏为主。

以上分析表明,塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏的分布具有“下气上油、北气南油、西气东油”的特点。

表 3 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏类型统计

Table 3 Statistics of hydrocarbon pool types in the Lower Paleozoic carbonate reservoirs of the Tazhong Palaeoouplift

区域位置	井号	层位	油气藏类型	原油密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	气油比/($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$)	干燥系数
中央断垒带	塔中 1	ϵ_3	凝析气藏	0.768 3	2 383	0.89
	塔中 4-7-38	O_3	油藏	0.837 6	12	0.91
塔中北斜坡	塔中 161	O_3	油藏	0.835 7	621	
	塔中 168	O_3	油藏	0.861 6	111	
	塔中 162	O_{1P}	气藏			0.96
塔中 I 号坡折带东段	塔中 26	O_3	凝析气藏	0.799 6	1 944	0.97
	塔中 24	O_3	凝析气藏	0.789 1	1 277	0.98
内带	塔中 58	O_3	油藏	0.825 3	276	0.93
	塔中 72	O_3	油藏	0.804 5	218	0.94
	塔中 83	O_{1Y}	凝析气藏	0.823 7	21 740	0.99

2 油气源——寒武系

2.1 原油——中-下寒武统源岩

塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏中原油的全油碳同位素分析表明,碳同位素都非常轻,普遍在 -34% ~ -32% ,反映来源于下古生界腐泥型烃源岩。

中分子量烃已经成为油油对比和油源对比的一种有效方法,它具有反映生源特征和化合物含量高等优点^①,研究表明,不同成因的原油指纹差异很明显,而相同成因的原油指纹相似^[4]。塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏中原油的中分子量烃指纹对比表明,不同层系、不同构造单元和不同密度的原油的中分子量烃指纹具有非常好的相似性,说明这些油可能具有相同的来源。

应用Thompson K F M(1983)的轻烃成熟度参数庚烷值^[5]判断塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏中部分原油的成熟度(图3),结果表明原油均处于过成熟区间,这明显与塔中北斜坡中-上奥陶统中等成熟的烃源岩(0.81%~1.1%)不匹配,而可能是现今中-下寒武统源岩(1.70%~2.45%)早期的贡献。

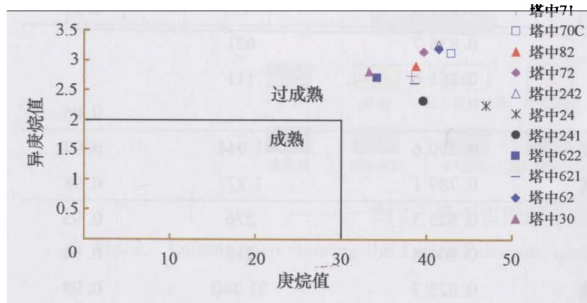


图3 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩中原油的轻烃成熟度参数

Fig. 3 Maturity parameters of light hydrocarbon from crude oil in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeoupift

庚烷值 = $nC_7 \times 100 / (\text{环己烷} + 2\text{-甲基己烷} + 1,1\text{-二甲基环戊烷} + 3\text{-甲基己烷} + 1,3\text{-反-二甲基环戊烷} + 1,3\text{-顺-二甲基环戊烷} + 1,2\text{-顺-二甲基环戊烷} + nC_7 + \text{甲基环己烷})$;
异庚烷值 = $(2\text{-甲基己烷} + 3\text{-甲基己烷}) / (1,3\text{-反-二甲基环戊烷} + 1,3\text{-顺-二甲基环戊烷} + 1,2\text{-顺-二甲基环戊烷})$

2.2 天然气——中-下寒武统原油裂解气

塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏中天然气的甲烷碳同位素值主要分布在 -46% ~ -37% ,乙烷碳同位素值主要分布在 -42% ~ -30% , $\delta^{13}C_{2-1}$ 值小,大多小于10‰,反映天然气成熟度非常高。根据天然气 $\delta^{13}C_1$ 和 R_o 值关系式换算出的天然气 R_o 值主要在1.3%~2.2%,说明天然气主要进入了高-过成熟阶段。这与塔中北斜坡上奥陶统烃源岩的成熟度不匹配,说明天然气主要来源于中-下寒武统烃源岩。

天然气碳同位素值是划分油裂解气和晚期干酪根裂解气的重要依据。通过对四川威远震旦系天然气的研究,甲烷碳同位素为 -32% 时,仍然包含了1/3的油裂解气,如果排除油裂解气的影响,晚期干酪根裂解气的甲烷碳同位素可能比 -32% 还重^②。轮南59井石炭系天然气甲烷碳同位素为 -33.4% ,以晚期干酪根裂解气为主。英南2井与和田河气田的玛4井的天然气成因研究表明以原油裂解气为主^[6-8],这两口井的天然气甲烷碳同位素均在 -37% 左右,明显轻于轮南59井的干酪根裂解气的甲烷碳同位素。塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气藏中天然气的甲烷碳同位素与塔里木典型的干酪根裂解气和原油裂解气的甲烷碳同位素的对比(图4)表明,塔中古隆起下古生界

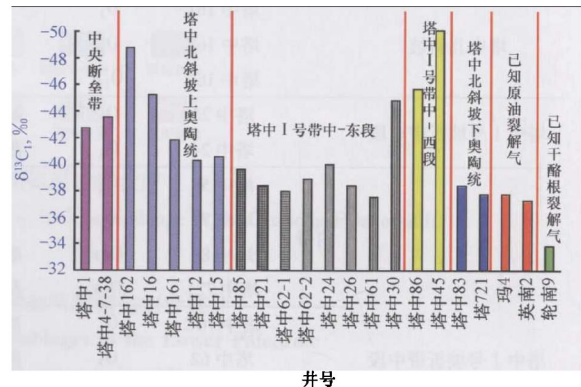


图4 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩中天然气与塔里木典型原油裂解气和干酪根裂解气的 $\delta^{13}C_1$ 对比

Fig. 4 Correlation of $\delta^{13}C_1$ values between typical oil-cracked gases and kerogen-cracked gases in the Tarim Basin and the natural gas from the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeoupift

① 王廷栋. 塔中地区油气成藏地球化学研究与勘探方向初探. 塔里木油田公司科研报告, 2004

② 王廷栋. 四川盆地加里东古隆起震旦系、寒武系天然气有效运聚系统研究. 国家“九五”重点科技攻关项目报告, 1998

天然气的甲烷碳同位素明显与典型的原油裂解气相近或更轻,说明天然气主要为中-下寒武统来源的古油藏的原油裂解气。

3 复杂的成藏机制

3.1 输导体系

研究表明,垂向运移与侧向运移的结合是大中型油气田形成的重要条件^[9-12]。塔中古隆起下古生界存在两套输导系统,即垂向输导系统和侧向输导系统。垂向输导系统主要以塔中 I 号断裂及次一级断裂、中央断裂、塔中 10 号断裂和走滑断裂构成,侧向输导体系则由下奥陶统鹰山组顶部不整合面、上奥陶统灰岩潜山不整合面和碳酸盐岩中缝洞发育带构成。因此,塔中古隆起下古生界为典型的复式输导体系,过塔中 83—塔中 821 井南北向油藏形成示意图(图 5)即是复式输导的一个实例。

目前发现的油气藏主要位于奥陶系和上寒武统的碳酸盐岩中。大量的油气藏和油气显示均发现于断裂附近,是断裂作为油气垂向运移通道的间接证据。而塔中古隆起下奥陶统鹰山组不整合面附近发现多个油气藏和大量油气显示则是不整合面作为侧向运移通道的证据。而输导层作为侧向运移通道主要发现于塔中 I 号断裂坡折带外带礁滩体储层发现大量油气藏,在地质历史时期通过优质储层的输导作用在南部的内带也形成了油气藏。

3.2 油气成藏过程

塔中古隆起下古生界油气成藏具有下生上储、多个储盖组合、多期成藏、多次调整等明显的复式成藏特征。

塔中 82 井奥陶系与烃类相伴生的盐水包裹体的均一化温度研究表明,均一化温度主要分布在 70~90, 110~130, 140~150℃ 3 个区间,与之对应的成藏期分别为加里东期—海西早期、晚海西期和喜马拉雅期,综合地化与地史资料证实塔中地区具有晚加里东期—早海西期、晚海西期和喜马拉雅期 3 期油气充注与早海西期油气破坏调整。

塔中古隆起形成于早奥陶纪末,奥陶纪中晚期满加尔凹陷寒武系烃源岩进入生油高峰,生成的油气通过塔中 I 号断裂带向位于高部位的寒武系白云岩、下奥陶统风化壳、上奥陶系礁滩体圈闭运移聚集,此时这 3 类储层埋藏浅、储层发育,形成广泛分布的大型古油藏(图 6)。

志留纪末至东河砂岩沉积前,塔中地区遭受强烈的构造改造作用,油气经历强烈的调整破坏,大量的油气发生散失,形成志留系普遍赋存的沥青与稠油。

塔中 82 井奥陶系包裹体温度(110~130℃)反映出存在晚海西期油气的补充聚集,中分子量烃指纹间的微小差异可能揭示了除晚加里东期寒武系主要来源之外,在晚海西期有新生成油气的补充。晚海西期满西以及巴楚地区寒武系烃源岩进入高成熟期,同时满西地区中奥陶统优质烃源

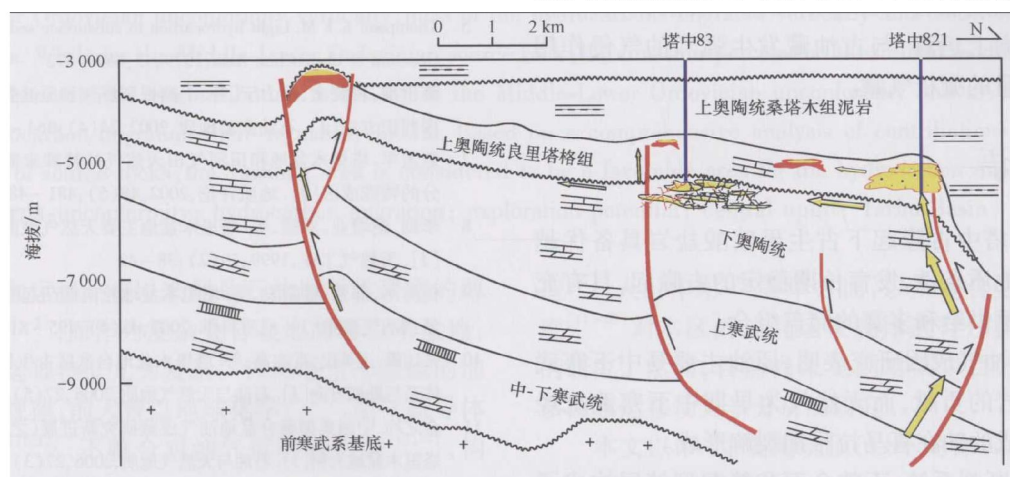


图 5 过塔中 83 和塔中 821 井南北向油藏形成示意图

Fig. 5 Sketch map showing the formation of the hydrocarbon reservoirs across Tazhong-83 well and Tazhong-821 well

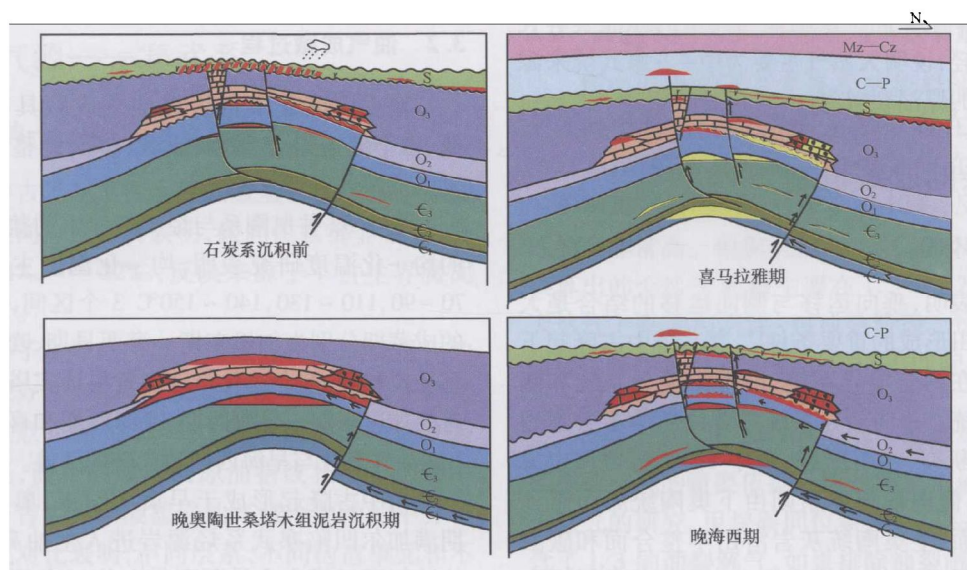


图6 塔中古隆起下古生界油气成藏模式

Fig. 6 Accumulating patterns of the Lower Paleozoic hydrocarbon in the Tazhong Palaeouplift

岩进入生烃高峰期,为紧邻满西凹陷的塔中北斜坡提供了大量的油气资源。

天然气的充注主要发生在喜马拉雅期,包裹体温度(140~150℃)反映出存在该期油气的聚集。塔里木盆地台盆区下古生界源岩现今处于高过成熟阶段,特别是台盆区东部的寒武系一下奥陶统源岩和中西部的中下寒武统源岩目前基本上处于过成熟阶段(有机质丰度大于2%),这套高有机质丰度源岩在加里东末期—海西早期基本已过生死死亡线,加里东末期—海西早期形成的石油在燕山期和喜马拉雅期经历了裂解作用,原油裂解气向上运移,与古油藏发生强烈的气侵作用形成大量的凝析气藏。

4 结语

1) 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩具备优越的成藏地质条件,发育长期稳定的古隆起,具有充足的烃源供给和多套的储盖组合。

2) 油气成因研究表明,原油主要是中下寒武统烃源岩的贡献,而天然气为早期中下寒武统烃源岩生成的油在喜马拉雅期裂解形成。

3) 断裂系统、不整合面和缝洞型储层构成了塔中古隆起下古生界复杂的输导体系。

4) 塔中古隆起海相碳酸盐岩油气复式成藏

对塔里木盆地以及类似盆地油气勘探具有重要指导意义。

参考文献

- 1 贾承造,魏国齐,姚慧君,等.塔里木盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1995.88~104
- 2 翟光明,王建君.对塔中地区石油地质条件的认识[J].石油学报,1999,20(4):1~6
- 3 张水昌,梁狄刚,张宝民,等.塔里木盆地海相油气的生成[M].北京:石油工业出版社,2004.189~201
- 4 陈世加,付晓文,廖前进,等.中分子量烃在油源对比中的应用[J].西南石油学院学报,2002,24(5):1~3
- 5 Thompson K F M. Light hydrocarbon in subsurface sediments[J]. Geochim et Cosmochim Acta,1979,43:657~672
- 6 陈世加,付晓文,马力宁,等.干酪根裂解气和原油裂解气的成因判别方法[J].石油实验地质,2002,24(4):364~366
- 7 赵孟军.塔里木盆地和田河气田天然气的特殊来源及非烃组分的特殊成因[J].地质评论,2002,48(5):481~485
- 8 李剑,谢增业,罗霞,等.塔里木盆地主要天然气藏的气源认识[J].天然气工业,1999,19(2):38~42
- 9 杨海军,郝芳,韩剑发,等.塔里木盆地轮南低凸起断裂系统与复式油气聚集[J].地质科学,2007,42(4):795~811
- 10 张达景,王英民,肖志高,等.塔里木盆地台盆区古生界油气输导体系与勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(5):604~613
- 11 金之均.中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)——以塔里木盆地为例[J].石油与天然气地质,2006,27(3):281~288
- 12 庞雄奇,高剑波,孟庆阳.塔里木盆地台盆区构造变动与油气聚散关系[J].石油与天然气地质,2006,27(5):594~603

(编辑 高岩)