

文章编号: 0253-9985(2004)03-0268-06

叠合盆地的热演化史与油气生成 ——以吐鲁番-哈密盆地南部构造带为例

冯 乔^{1,2}, 柳益群², 张小莉², 周立发², 郝建荣²

(1. 山东科技大学地球科学学院, 山东青岛 266500; 2. 西北大学地质系, 陕西西安 710069)

摘要: 叠合盆地演化的长期性和构造作用的多阶段性, 造成盆地内多套烃源岩发育和多阶段的热演化作用, 以及油气生成的复杂性。吐鲁番-哈密盆地南部构造带的研究表明, 自晚古生代以来, 该地区遭受多期次的构造作用与改造。构造热体制和热演化经历了5个不同的阶段, 即石炭-早二叠世为伸展裂谷、快速埋藏与超高温阶段, 中二叠世为裂谷后凹陷、较快速埋藏与高温阶段; 晚二叠世至三叠纪为克拉通内凹陷、稳定沉降与较高温阶段; 侏罗纪至白垩纪为广覆式拗陷、稳定沉降与较低温阶段; 新生代为挤压造山、较快速沉降与低温阶段。不同地区不同层位的烃源岩具有不同的有机质成熟演化史。台南凹陷二叠系芦草沟组烃源岩和托克逊凹陷中上三叠统小泉沟组烃源岩均具有两次油气生成过程。由于埋藏史和油气生成史的不同, 台南凹陷和托克逊凹陷油气藏类型和油气性质出现明显差异。

关键词: 叠合盆地; 热演化; 油气生成; 二次生油

中图分类号: TE111.1

文献标识码: A

Thermal evolution history and hydrocarbon generation in superimposed basin: taking the southern structural zone in Turpan-Hami basin, Xinjiang, as an example

Feng Qiao^{1,2} Liu Yiqun² Zhang Xiaoli² Zhou Lifa² Hao Jianrong²

(1. Institute of Geosciences, Shandong University of Science & Technology, Qingdao, Shandong;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Abstract: Several sets of source rocks have developed and experienced multistage thermal evolution in Turpan-Hami basin, a superimposed basin, as a result of long-term basin evolution and multiphase tectonic activity, thus hydrocarbon-generating history is very complicated. Study of the basin's southern structural belt indicates that this area has experienced multiphase tectonic movements and modifications since Late Paleozoic. Structural thermal system and thermal evolution can be divided into five stages, including an extensional rift stage with rapid burial and super-high temperature gradient from Carboniferous to Early Permian; a post-rift depression stage with relatively rapid burial and high temperature gradient during Middle Permian; an intracratonic depression stage with steady subsidence and relatively high temperature gradient from Late Permian to Triassic; a broad sedimentation stage with steady subsidence and relatively low temperature gradient from Jurassic to Cretaceous; and a compressional orogenic stage with relatively quick subsidence and low temperature gradient during Cenozoic. Source rocks in various horizons and regions have different organic maturation and evolutionary history. Both source rocks in Permian Lucaogou Formation in Tainan depression and Middle-Upper Triassic Xiaoquangou Formation in Tuokexun depression have experienced two hydrocarbon-generating processes. The reservoir types and hydrocarbon properties in Tainan depression are obviously different from those in Tuokexun depression, due to differences in burial history and hydrocarbon-generating history.

Key words: superimposed basin; thermal evolution; hydrocarbon generation; secondary oil generation

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目——中国典型叠合盆地碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与效率(G1999043307); 吐哈油田协作研究项目

第一作者简介: 冯乔, 男, 41岁, 教授(博士), 油气盆地分析、成藏地球化学

收稿日期: 2004-03-08

叠合盆地是指由不同时期不同性质的原型盆地复合叠置而成的盆地,这类盆地在中国分布广泛,不仅西部的众多含油气盆地具有多期叠合的特点^[1,2],东部的含油气盆地也经历了不同时期原型盆地的叠合^[3]。这类盆地一般均遭受了多期构造运动的作用^[4~6],在不同演化阶段具有不同的盆地类型和性质,具有多期次油气运聚历史和多种油气运聚模式^[7],形成类型众多的油气藏^[8]。由于叠合盆地演化历史长,不同时期不同性质的原型盆地相互叠加,往往发育多个构造层和多套烃源岩。不同构造阶段具有不同的构造热体制和热作用,具有复杂的热演化史,从而导致其油气生成过程和油气成藏历史也非常复杂^[9~15],但其研究还比较薄弱,本文拟以吐哈盆地南部构造带为例,探讨叠合盆地复杂的热演化史和油气生成

史。

1 盆地热体制与热演化史

1.1 地质概况

吐鲁番-哈密盆地南部构造带(简称吐哈南带)位于火焰山-七克台断裂以南,从西向东依次发育科牙依凹陷、布尔加凸起、托克逊凹陷、鲁西凸起、台南凹陷和塔克泉凸起,以凹凸相间格局呈东西向展布(图1)。在该构造带内已发现的油田和油气显示主要分布在托克逊凹陷西部和台南凹陷西部的二级构造带上,如伊拉湖、胜南-神泉、吐玉克、玉北等含油气构造带,其原油性质相差较大,伊拉湖、胜南的原油为轻质油,而吐玉克、玉北的原油为重质稠油。这种差异主要与它们经历了不同的油气生成与成藏历史有关^[11,12]。

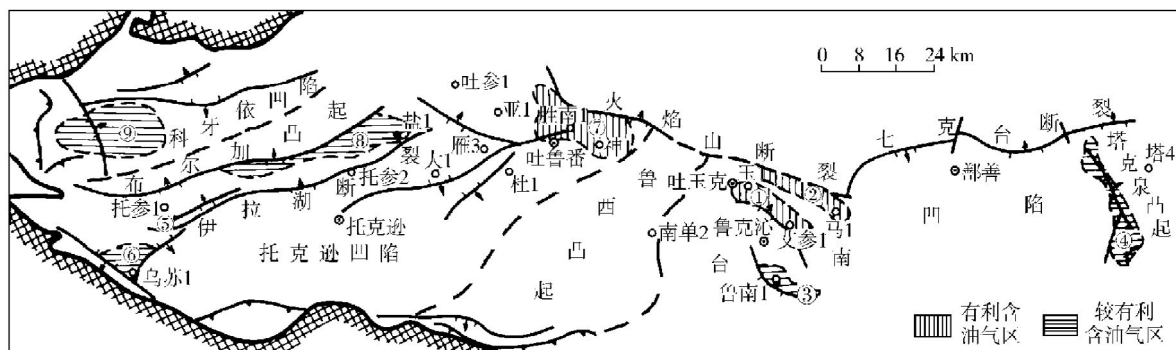


图1 吐鲁番-哈密盆地南部构造带及其含油气构造带分布图

Fig. 1 Distribution of structural units and hydrocarbon-bearing structural belts in the southern part of Turpan-Hami basin

- ①—吐玉克含油气构造带; ②—玉北含油气构造带; ③—鲁南构造带; ④—塔克泉构造带;
⑤—伊拉湖含油气构造带; ⑥—乌苏构造带; ⑦—胜南-神泉构造带; ⑧—托北断阶带; ⑨—科牙依断块群

油源对比研究表明,吐哈南带前侏罗系油气藏中的原油主要来自两套烃源岩,即中二叠统塔尔朗组湖相泥岩、泥灰岩和中上三叠统小泉沟群湖相泥岩。

1.2 热体制

为了研究这两套烃源岩的有机质成熟和油气生成,综合应用镜质体反射率、包裹体测温、磷灰石裂变径迹,以及自生矿物变化、孢粉色变指数等多种测试分析,以及结合前人研究成果^[16,17],综合分析认为吐哈盆地及其邻区具有从热盆逐渐向冷盆演化的历史,从老到新古地温梯度逐渐降低,这与准噶尔盆地自晚古生代以来的热演化史是一致的^[18~20]。

精细研究表明,自晚古生代以来,吐哈盆地的

热演化与构造热体制可以划分为5个阶段:即石炭纪—早二叠世为伸展裂谷、快速埋藏与超高温阶段;中二叠世为裂谷后凹陷、较快速埋藏与高温阶段;晚二叠世至三叠纪为克拉通内凹陷、稳定沉降与高温阶段;侏罗纪至白垩纪为板内广覆式拗陷、稳定沉降与较低温阶段;新生代为挤压造山、较快速沉降与低温阶段(表1)。

1.3 热演化史

石炭纪至早二叠世时期,吐哈南带处于陆内裂谷盆地的活动构造背景,火山活动频繁,岩浆作用强烈,其盆地中充填了众多的中基性火山岩和大量的火山碎屑岩。大量火山活动必然伴随着极高的热作用,因此这类盆地普遍具有地温异常高的特点,如松辽裂谷盆地中央隆起带的今地温梯

表1 吐哈盆地南部构造带不同时期的古地温梯度

Table 1 Palaeogeothermal gradients of structural belts in different periods in southern Turpan-Hami Basin

地 区			不同时期古地温梯度/(℃·km ⁻¹)					资料来源	
			C	P ₁	P ₂	P ₃ - T ₃	J- K		R- Q
柯 7			-	-	-	-	31. 5	-	程克明等 ^[10]
托参 1			-	-	33. 8	-	-	-	
米 1, 山 1, 墩 1			-	-	-	-	30. 5	-	柳益群等*
台南凹陷			-	-	40. 8		-	25. 6	冯乔等 ^[11]
托克逊凹陷			-	-	61. 8~ 65. 8		26. 4~ 29. 9	21. 5	
台南凹陷			40~ 50	40. 6~ 48. 6		24. 5~ 30. 9	27. 9~ 30. 9	22. 3~ 26. 9	柳益群等 ^[12~ 14]
托克逊凹陷			-	-	30		20. 8~ 29. 8	16. 5~ 23. 3	
沙参 1			> 48. 2			28. 1		18. 2	
吐哈南带			-	-	38		-	-	冯乔**
准噶尔	西部	艾参 1	-	-	45~ 52	40~ 45	23~ 40	20~ 23	周中毅等 ^[15]
		拐- 148	-	50~ 70		38~ 50	23~ 38	21~ 23	
	东部	火南 1	-	48~ 60		43~ 48	25~ 43		
		彩参 1	> 70	53~ 70		43~ 53	35~ 43		
吐哈南带	台南凹陷		> 50		44	40. 8	29. 4	24. 6	本文
	托克逊凹陷					30	25. 3	19. 9	

度为 $48^{\circ}\text{C}/\text{km}^{[18]}$,且其岩浆活动还没有吐哈盆地这么强烈,因此吐哈南带的古地温梯度应不低于 $50^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

晚二叠世沉积时期为断陷-坳陷型盆地。虽然地壳活动性较石炭纪一早二叠世稳定得多,但其早期仍有少量的火山活动,如艾参1井上二叠统塔尔郎组中发育40 m厚的玄武岩,桃树园剖面大河沿组中侵入有多层中基性火山岩。因此该时期的古地温梯度也应是比较高的。

晚二叠世晚期至早三叠世时期,其原型盆地为处于博格达和觉罗塔格构造带之间的稳定沉积盆地,中晚三叠世为广覆式坳陷型沉积。这两类盆地均处于比较稳定的构造环境,且其沉降史分析表明它们均具有相似的基底和构造沉降速度**,因此应具有统一的古地温场和相近的古地温梯度。与侏罗纪相比,其地壳活动性较后者要强烈,侏罗纪更趋于稳定。另外,印支构造旋回期间台南凹陷的地壳活动性要比托克逊凹陷强烈,台南凹陷形成了众多的印支期构造,托克逊凹陷保存了更多的三叠系,从而造成在热演化史上表现出一定的差异性,在古地温梯度上也表现出较大的差别。

侏罗纪及其以后,台南地区成为吐哈侏罗系盆地的一部分,其地壳活动性表现为非常缓慢的

沉降,无强烈的构造作用和断裂活动,因此,其古地温梯度较低。尤其是托克逊凹陷由于覆盖了巨厚的侏罗系和新生界,导致地球内部热流向地表传导非常缓慢,其地温梯度更低。

这5个热演化阶段对应于不同性质的原型盆地,具有不同的沉积沉降史和不同的古热流**。

2 生烃史与油气生成

2.1 中二叠统塔尔郎组

根据地层埋藏史恢复和时间温度指数(TTI)模拟计算结果,中二叠统塔尔郎组烃源岩的热演化和油气生成具有多次生油的特点。吐哈南带塔尔郎组烃源岩的分布仅限于台南凹陷,托克逊凹陷不发育该套地层,因此,二叠纪原油仅分布在台南凹陷,其油气生成具有两个阶段。

台南凹陷第一次油气生成从晚三叠世早中期至晚三叠世末期(图2)。艾参1井塔尔郎组底在224.7 Ma(相当于晚三叠世早中期)开始进入生油窗,当时的古温度为 113°C ,所对应的古门限深度为2284 m(表2)。到晚三叠世晚期,达到了较高的热成熟程度,TTI约35,其顶部仍未进入生油窗。由于三叠纪末的印支运动造成地壳隆升,三叠系逐渐抬升遭受风化剥蚀,并一直持续到早侏罗世。塔尔郎组因抬升,古地温降低,其底部退出生油

* 柳益群,李文厚.吐哈盆地米1、山1、墩1井单井综合地质评价研究.1992

** 冯乔.吐哈盆地前侏罗系原型盆地分析与多期次油气成藏[博士学位论文].西安:西北大学地质系,1999

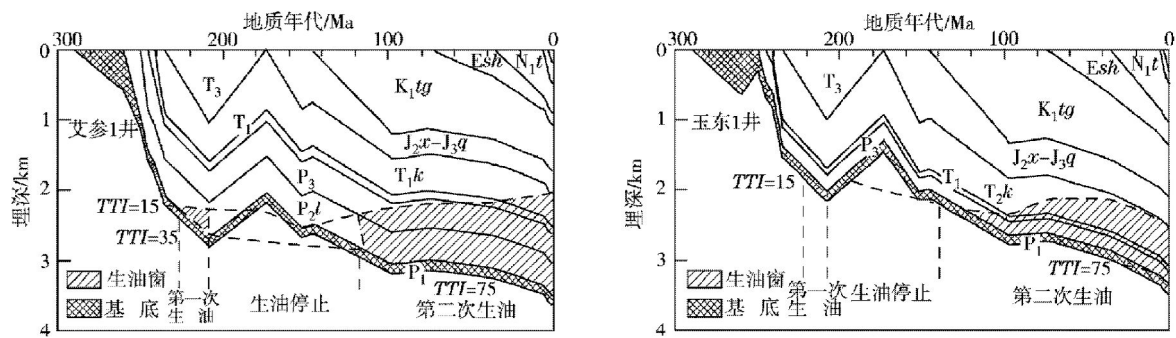


图 2 吐哈盆地台南凹陷热演化史与油气生成史图

Fig. 2 Plots showing thermal evolution and hydrocarbon generating history in Tainan depression in Turpan-Hami basin

表 2 吐哈南带前侏罗系烃源岩热演化与油气生成各阶段特征值*

Table 2 Characteristic values in different stages of thermal evolution and hydrocarbon generation of pre-Jurassic source rocks in the southern part of Turpan-Hami basin

井 名	生油阶段	层 位	TTI	地质年代/Ma	古门限深度/m	古门限温度/℃	最高 TTI	成熟程度	油气生成
艾 参 1	一次生油	P ₁ 底	15	234.0	2 219	111	62(T 末)	低成熟	低熟原油
		P ₂ l 底	15	224.7	2 284	113	35(T 末)		
	二次生油	P ₁ 底	62	97.2	3 184	113	119(Q)	成熟	成熟原油
		P ₂ l 底	35	114.5	2 841	104		低成熟	低熟原油
		P ₂ l 底	75	0.28	3 498	106	76(Q)	中低成熟	成熟原油
		P ₂ l 顶	15	125.3	2 247	86	49(Q)	低成熟	低熟原油
		P ₃ 顶	15	61.0	2 127	82	37(Q)		
		T ₂ k 底	15	15.1	2 283	76	25(Q)		
		T ₂ k 顶	15	2.28	2 008	69	18(Q)		
		P ₃ 底	15	130.5	2 191	84	75(Q)	中低成熟	成熟原油
玉 东 1		P ₃ 顶	15	97.0	2 370	89	64(Q)	低成熟	低熟原油
		T ₂ k 底	15	96.5	2 360	89	45(Q)		
		T ₂ k 顶	15	28.2	2 127	72	30(Q)		
		T ₂ k 底	15	169.4	2 803	104			
托 参 2		T ₂ k 底	75	4.7	4 625	112	140(Q)	成熟	成熟原油
		T ₃ 底	15	148.4	3 425	107	63(Q)	低成熟	低熟原油
		J ₁ 底	15	23.9	3 425	88	28(Q)		煤成油气
		J ₂ x 底	15	2.75	3 425	88	16(Q)		
杜 1		T ₂ k 底	15	124.0	3 056	97	63(N 末)	低成熟	低熟原油
		T ₃ 底	15	25.7	3 320	86	43(N 末)		
		T ₃ 顶	15	6.8	3 321	86	17(Q)		

* 古地表温度相当于恒温层的温度,取 20℃。

窗,从而结束了塔朗组的第一次生油。在该时期,烃源岩的热演化程度处于低成熟阶段,所生成的原油主要为低成熟原油。

只有烃源岩再埋藏后所遭受的热成熟程度达到或超过第一次生油曾经达到的最高成熟度时,才开始第二次油气生成。艾参 1 井塔朗组底部在晚白垩世早期(97.2 Ma)再次进入生油窗,其古温度约为 104℃,对应的门限深度约为 2 841 m。其顶部在 125.3 Ma(即早白垩世)首次进入生油窗开始生油,并一直持续到第四纪。在第四纪时期,塔

尔朗组底部达到了较高的成熟程度,处于生油的高峰阶段,但其绝大部分地层的热演化仍处于低成熟阶段,因此所生成的油气仍以低成熟原油为主。

2.2 中三叠统克拉玛依组

中三叠统克拉玛依组在吐哈南带分布较广。台南凹陷艾参 1 井、玉东 1 井均达到了低成熟程度(图 2),其中玉东 1 井的热演化程度相对较高。玉东 1 井克拉玛依组底进入生油窗的时间在早白垩世末期(96.5 Ma),而艾参 1 井在中新世中晚期(15.1 Ma)才进入生油窗。玉东 1 井克拉玛依组顶

界进入生油窗的时间(28.2 Ma)同样早于艾参1井(2.28 Ma)。因此,台南凹陷克拉玛依组的有机质成熟与油气生成具有西早东晚、北早南晚的特点。

托克逊凹陷托参2井克拉玛依组的热演化程度相对较高(图3),其底界在中侏罗世中期(169.4 Ma)进入生油窗,上新世时期(4.7 Ma)到达生油高峰,第四纪末 TTI 为140,热演化程度最高。其顶界在侏罗世末期进入生油窗(148.4 Ma),第四纪时 TTI 为63(表2)。因此,托克逊凹陷克拉玛依

组从中侏罗世生成油气以来,上新世达到生油高峰,到第四纪绝大部分地层均已成熟,所生成的油气除低熟原油外,还有部分成熟原油。

由凹陷中心向四周,有机质成熟程度逐渐降低,油气生成的时间也变晚。其东北方向的杜1井克拉玛依组底界在早白垩世中晚期(124 Ma)进入生油窗(图3),顶界在渐新世末期(25.7 Ma)进入生油窗,第四纪也没有达到生油高峰,一直处于低成熟阶段。

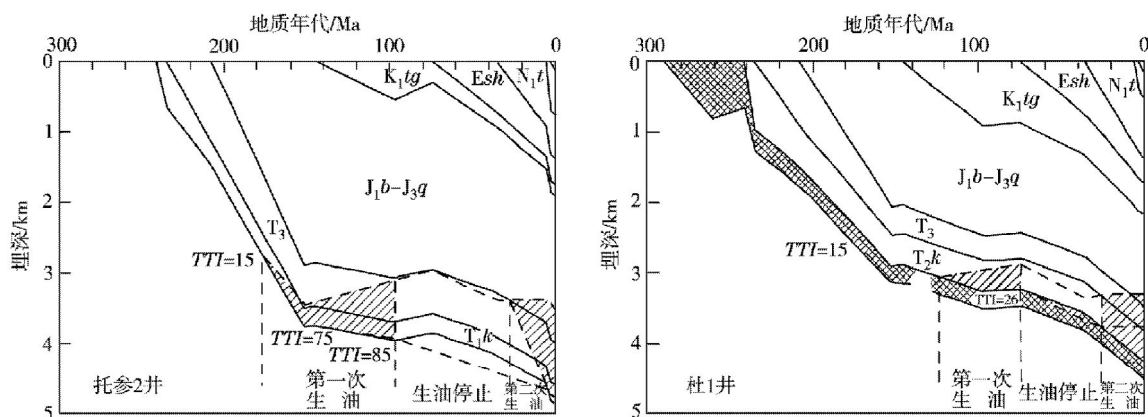


图3 吐哈盆地托克逊凹陷热演化史与油气生成史(图例见图2)

Fig. 3 Plots showing thermal evolution and hydrocarbon generating history in Tuokexun depression in Turpan-Hami basin

2.3 上三叠统黄山街组和赫家沟组

吐哈南带的上三叠统在鲁西凸起和台南凹陷西部地区缺失,只在托克逊凹陷及其以西地区和台南凹陷东部塔克泉地区发育。塔克泉地区至今也未进入生油门限,其烃源岩不成熟。托克逊凹陷上三叠统在凹陷中心成熟程度较高,四周相对较低。托参2井上三叠统底在侏罗纪末期(148.4 Ma)进入生油窗,其顶在中新世初期(23.9 Ma)进入生油窗,第四纪热演化程度达到最高, TTI 介于28~63,因此其烃源岩处于低成熟阶段,所生成的油气主要为低熟原油。托参2井的下侏罗统煤系在第三纪(23.9~2.75 Ma)位于生油窗内,处于低成熟阶段,可生成一定量的煤成油气^[21]。

托参2井东北方向的杜1井上三叠统成熟较晚,主要在渐新世晚期至中新世晚期(25.7~6.8 Ma)成熟,成熟程度较低(TTI 为43~17)。

3 关于二次(或多次)生油问题的讨论

3.1 二次(或多次)油气生成

对于连续沉积的含油气盆地,即使其古地温

在不同构造旋回具有不同的热演化体制,但其烃源岩埋深、镜质体反射率、温度或 TTI 的变化是连续的,因此其热演化历史也是连续的,其油气生成是一个连续多阶的过程^[22],中间不会出现中断,即烃源岩为一次连续的生油过程。

对于遭受多期次构造运动和地壳经历多次升降-沉降的含油气叠合盆地来说,其有机质成熟和油气生成的历史是非常复杂的,既可以在地质历史时期的某一阶段生成油气而以后不再进入生油门限,也可以在第一次生油停止一段时间以后,因再次被埋藏,烃源岩进入生油窗而再次生成油气,即多次生油。

关于二次或二次以上的多次油气生成,目前有两种不同的认识。一是认为随埋深增加,温度升高,烃源岩层一旦进入生油窗,就能够一直生成油气。即使在构造运动、烃源岩层抬升和温度降低的时期,烃源岩层也一直处在生油窗范围内,只不过其油气生成的速度缓慢一些。如对准噶尔盆地火南1井和彩参1井油气生成历史的解释和对酒东盆地热演化史与油气关系的解释^[23]。二是认

为烃源岩在第一次油气生成过程中,当烃源岩在埋藏最深、温度最高或 TTI 最大时,达到第一次生油的最高热演化阶段。在随后的地壳抬升、温度降低或 TTI 逐渐减小期间,烃源岩停止了油气生成,处于“滞留”状态^[24]。在以后的构造旋回过程中,随着埋深再次增加,温度再次升高或 TTI 再次增大,当且仅当埋深、温度或 TTI 再次超过了烃源岩曾经达到过的古埋深、古温度或 TTI 时,才开始第二次油气生成^[25~28]。因此,如果烃源岩被多次抬升和埋藏,那么还可能有第三次(或四次)油气生成。当然油气生成的次数并不是无限制的,它受构造运动期次、地质年代长短和热演化历史的限制。如果前一次生油以后,即使烃源岩被再次埋藏,且其埋深超过了它曾经达到过的最大埋深,但其热演化达不到前一次生油时的程度,那么该套烃源岩也不可能再生成油气。

3.2 二次(或多次)油气生成的理论基础

这种多次的间断性(或称为旋回性)油气生成过程,可以用 Tissot^[29] 的干酪根热降解动力学模型来解释。

干酪根是一种含羟基链和官能团的缩聚核组成的大分子,核与核之间由杂原子键或碳键相结合^[29]。随着埋深和温度增加,大致按活化能不断增加的次序,键逐渐被断裂。在低热演化阶段,首先生成的产物是重的杂原子化合物、 CO_2 和 H_2O ,然后是逐渐变小的分子,如生物甲烷气,其后高热演化阶段的产物是液态烃类和气态烃类。生物标志化合物的模拟结果也表明,不同热演化阶段生物标志物的组成不同^[30]。与此同时,残余干酪根的芳构化逐渐增强,并且向残碳方向演化。Tissot^[29] 认为这一过程是不可逆的,可以用一系列平行的和连续的动力学方程来描述: $\text{d}x_i/\text{d}t = -k_i x_i$, 其中 x_i 为反应物 i 中有机质的残余生油潜力, k_i 在给定温度下是一个常数。反应速率参数 k_i 与温度的关系符合 Arrhenius 方程: $k_i = A_i \exp(-E_i/RT)$, 式中 E_i 为与反应有关的活化能, A_i 为常数, E_i 和 A_i 均与有机质类型有关。

在热降解过程中,干酪根的活化能可以分成6个段,用6个平行的一级动力学反应描述;或分成更多的段,用更多的平行动力学反应描述。由此可以推论,烃源岩沉积以后,在随后的埋藏过程中经一定地质时间,随着能量的积累,具不同活化能

的分子开始与干酪根分离。首先是低活化能的分子键断裂,然后向具有高活化能的分子键演化。由此,在第一次生油过程中,如果热演化程度不是很高,处于相对低的油气成熟阶段,裂解的主要是低活化能的分子,所生成的油气主要为含杂原子的低熟原油,而活化能相对较高的分子不能裂解而被保留下来。当烃源岩再埋藏时,所聚集的能量达到较高活化能时,开始第二次油气生成,残余干酪根中的分子进一步裂解生成油气,如室内快速热解产物(S_2)就是烃源岩再次生成的烃类。

参 考 文 献

- 徐旭辉. 塔里木古生代原型盆地分析的油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 224~228
- 朱建辉. 中国东部构造-热体制与断陷盆地多期性迁移特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 367~370
- 梁生正, 杨国奇, 田建章, 等. 渤海湾叠合盆地大中型天然气田的勘探方向[J]. 石油学报, 2001, 22(6): 1~4
- 赵重远, 周立发. 成盆期后改造与中国含油气盆地地质特征[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 7~10
- 张抗. 盆地改造及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 38~41, 45
- 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价思路[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 11~14
- 汤良杰, 金之钧, 庞雄奇. 多期叠合盆地油气运聚模式[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 67~70
- 何登发, 赵文智, 雷振宇, 等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 23~37
- 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 33~37
- 王英民, 邓林, 贺小芬, 等. 海相残余盆地成藏动力学过程模拟, 理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1998
- 李志军, 李斌, 陈辉. 台南凹陷构造演化与成藏规律[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 53~56
- 程克明, 黄第藩. 吐哈盆地油气生成[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 骆传才. 准噶尔盆地演化历史与含油气性探讨[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(1): 114~123
- 冯乔, 柳益群, 张小莉. 吐哈盆地西南部热演化史[J]. 西北地质, 1997, 18(3): 46~52
- 柳益群, 吴涛, 崔早云, 等. 新疆吐鲁番-哈密盆地古地温梯度和地质热历史[J]. 中国科学(D), 1997, 31(3): 257~264
- 柳益群, 吴涛, 冯乔, 等. 吐鲁番-哈密盆地古地温梯度及有机质成熟度的确定[J]. 科学通报, 1998, 42(2): 298~300
- 陈刚, 赵重远, 李丕龙. R_o 反演的盆地热史恢复方法与相关问题[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 343~347
- 柳益群, 袁明生, 周鼎武, 等. 新疆吐鲁番-哈密盆地地质热历史研究新进展[J]. 中国科学(D), 2001, 31(3): 257~264

参 考 文 献

- 1 玉门油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷13) 玉门油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 84~ 140
- 2 霍永录, 谭试典. 酒泉盆地陆相石油地质特征及勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 84~ 140
- 3 赵应成. 酒西盆地含油气系统与油气勘探方向[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 362~ 367
- 4 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 99~ 122
- 5 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成和运移[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 14~ 109
- 6 涂建琪, 张大江, 许怀先. 中国侏罗纪煤的激光显微荧光特征及其成熟度意义[A]. 见: 张大江. 第四届全国石油地质实验技术及实验室管理工作交流会议论文集[C]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 197~ 200
- 7 Dow W G. Kerogen studies and geological interpretations[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7: 79~ 99
- 8 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence(2nd ed) [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984
- 10 周中毅, 潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1992. 1~ 57
- 11 任战利, 赵重远, 陈刚. 沁水盆地中生代晚期构造热事件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 46~ 48
- 12 尹凤娟, 刘洪福, 华洪. 三塘湖盆地晚二叠世芦苇沟组孢粉组合[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 392~ 396
- 13 汪新伟, 汪新文, 韩效忠. 运用磷灰石裂变径迹分析十万山盆地的地热史[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 385~ 390
- 14 Waples D W. Time and temperature in petroleum exploration[J]. AAPG Bull, 1980, 64: 916~ 926
- 15 Tissot B P, Pelet R, Ungerer P H. Thermal history of sedimentary basins, maturation indices, and kinetics of oil and gas generation[J]. AAPG Bull, 1987, 71(12): 1 445~ 1 466
- 16 Burnham A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 2 649~ 2 657
- 17 Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. AAPG Bull, 1990, 74(10): 1 559~ 1 570
- 18 宋党育, 秦勇. 镜质体反射率反演的 EASY % R。数值模拟新方法[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 15~ 17
- 22 徐永元, 徐廉, 郝石生. 多期构造演化[J]. 石油学报, 1993, 38(2): 155~ 158
- 23 任战利, 刘池阳, 张小会, 等. 酒东盆地热演化史与油气关系研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 619~ 623
- 24 邱楠生, 金之钧, 王飞宇. 多期构造演化盆地的复杂地温场对油气生成的影响——以塔里木盆地塔中地区为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 142~ 144
- 25 徐永元, 徐廉, 郝石生. 塔里木盆地多期构造演化[J]. 石油学报, 1997, 22(1): 13~ 16
- 26 徐永元, 徐廉, 郝石生. 塔里木盆地多期构造演化[J]. 石油学报, 1997, 22(1): 13~ 16
- 27 徐永元, 徐廉, 郝石生. 塔里木盆地多期构造演化[J]. 石油学报, 1997, 22(1): 13~ 16
- 28 徐永元, 徐廉, 郝石生. 塔里木盆地多期构造演化[J]. 石油学报, 1997, 22(1): 13~ 16
- 29 Tissot B P, Welte D H. 石油的形成与分布[M]. 徐永元, 徐廉, 郝石生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1989
- 30 段毅, 周世新. 塔里木盆地石炭系烃源岩热模拟实验研究——II. 生物标志化合物的组成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 13~ 16
- 10 林鹤鸣, 夏邦栋. 下扬子区中生代溧水—南陵拉分盆地的厘定[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 276~ 281
- 11 徐嘉伟. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 1992, 38(4): 316~ 323
- 12 张云银. 郯庐断裂带含油气性研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 28~ 32

(上接第283页)

二段火山岩的储集特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 289~ 291

- 8 夏邦栋, 李培军, 尚彦军, 等. 下扬子区中生代走滑活动带初析[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(3): 193~ 200
- 9 尚彦军, 夏邦栋, 林鹤鸣, 等. 下扬子区晚中生代逃逸构造初探[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 177~ 182