

新疆吐鲁番-哈密盆地地质热历史研究新进展

柳益群^① 袁明生^② 周鼎武^① 冯 乔^① 荐 军^①

(^①西北大学地质系, 西安 710069; ^②中国石油天然气股份有限公司吐哈石油分公司, 哈密 839003)

摘要 用镜质体反射率、流体包裹体测温、磷灰石裂变径迹和火山岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年等综合分析方法, 再探吐-哈盆地热历史, 认为基岩埋深、热流值、岩浆活动、构造运动是影响本区地温古高今低、东高西低、南高北低、大断裂处高变化规律的重要因素。幔源热、印支构造热事件对下二叠统上部烃源岩和中上三叠统烃源岩在印支期成熟有巨大的影响, 而地热增温和早燕山运动弱构造热事件则为中下侏罗统煤系烃源岩在侏罗纪内相继成熟提供了必要的热源。

关键词 吐-哈盆地 地质热历史 构造热事件 镜质体反射率 流体包裹体测温
地温梯度 磷灰石裂变径迹

继 1997 年^[1]讨论了新疆吐鲁番-哈密盆地的古地温梯度及地质热历史以来, 随着盆地南带前侏罗系油藏的发现和该区带研究的不断深入, 我们对吐-哈盆地开展了进一步的地质热历史研究^[1,2]。在依然选用镜质体反射率法、流体包裹体测温法和磷灰石裂变径迹法进行综合分析的基础上, 对该盆地内分布的岩浆岩进行了专题研究, 为探讨该盆地的热演化历史及其与油气生成、运聚的关系提供了新的依据。

1 吐-哈盆地基底特征

航磁资料表明, 吐-哈盆地存在双重基底, 即前寒武纪结晶基底和古生代的火山岩、碎屑岩褶皱基底^[2]。前者呈现出与准噶尔盆地结晶基底相关联的古老陆块特点, 后者反映了在古生代北疆洋陆间杂古洋盆形成、俯冲、古陆块会聚、碰撞造山以及构造变形、岩浆侵位的构造作用过程。

地球物理资料表明, 吐-哈盆地磁场分布呈区域性正异常, 并在鄯善南部和哈密西南部形成两个高值区(图 1)。在布格重力图上, 吐-哈盆地也具有相对高的异常值, 在吐鲁番—鄯善—哈密以南形成一个-110~-130 重伽的椭圆形重力高, 这种磁场与重力的分布特点正是由于地幔隆起、地壳减薄所引起的^[3]。天山地区的地壳厚度整体呈现出西厚东薄的特点, 从西部的 55 km 左右向东渐变为 52 km 左右, 至吐-哈盆地周围减至 45~47.5 km, 因此吐-哈盆地地壳厚度相对邻区减薄而地幔隆起, 特别是哈密西南一带尤为明显, 莫霍面与地形呈镜像反映。

地球物理资料所表现出的上述特征, 实际上是吐-哈盆地深部结构和形态在现今状态下的反映。但经区域资料分析, 这种特征也反映了盆地形成早期的古面貌, 具有继承性。

2000-05-31 收稿

1) 柳益群, 冯 乔, 周立发. 吐-哈盆地南带前侏罗系油气勘探前景与有利区带评价. 研究报告, 1997

2) 周鼎武, 柳益群. 吐-哈盆地火山岩研究. 研究报告, 1998

基岩埋深、岩浆活动的差异导致古、今热流值在盆地内不同地区的差别, 具有古高今低, 东高西低, 南高北低, 大断裂处高的规律, 对盆地的热演化发生了较大影响.

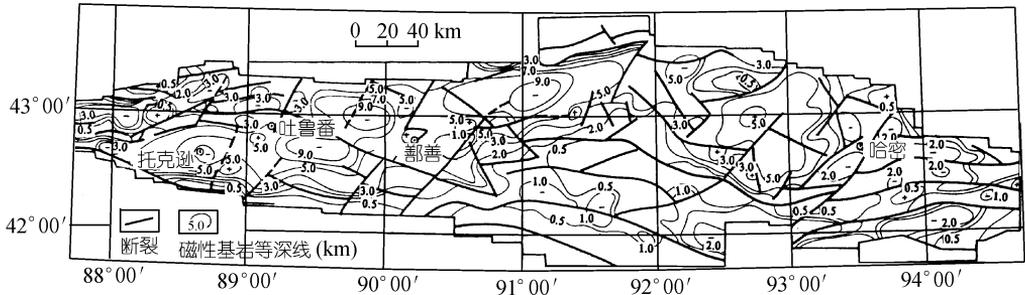


图 1 吐-哈盆地磁性基底埋深图
(引自李占奎, 1995)

基底构造控制了盖层构造, 基底断块活动的差异性造成盖层中构造具有明显的分区性, 使吐-哈盆地的形成和演化既有整体升降又有块体的差异升降, 使盖层构造的形成与发展具有“南北分带、东西分块”的特点(图 2).

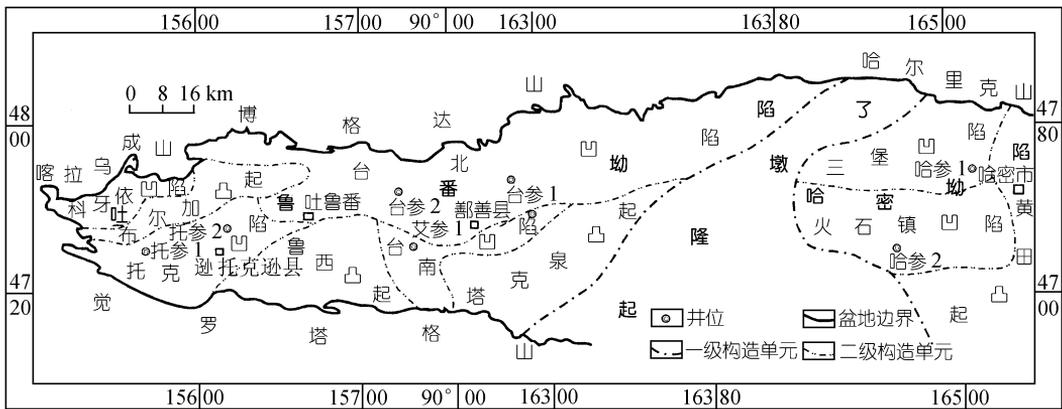


图 2 吐-哈盆地构造单元划分
(据吐-哈油田, 1997)

据吐-哈盆地的结构特征, 早二叠世早期该区形成几个陆内裂谷, 以盆地北部的博格达-七角井裂谷规模最大(含台北地区); 早二叠世晚期为裂谷拗陷-萎缩阶段, 晚二叠世到三叠纪为类前陆盆地阶段, 此时期吐-哈盆地为拉张环境下的南深北浅的箕状盆地. 三叠纪后进入广盆形成阶段, 逐渐演变为北深南浅、北断南超的箕状盆地, 显示出区域挤压背景下张性伸展盆地的特征. 喜山运动中, 博格达山体向南强烈挤压, 形成叠瓦状冲断带, 盆地被强烈改造, 此时以压性为特征.

2 古、今地温及地温梯度

2.1 镜质体反射率

本文重点分析了盆地南带科牙依凹陷、托克逊凹陷和台南凹陷的 R_0 -深度曲线. 17 口井统

计结果表明, 各区侏罗纪—三叠纪—晚二叠世的 $\ln R_0$ -H 曲线是连续的, 说明地温梯度没有间断(图略), 多介于 2.11~2.75 °C/100 m, 综合分析认为它们反映的是侏罗纪末期—早第三纪期间达到的最高温度(表 1, 2). 早二叠世下茆茆槽群与上茆茆槽群(吐-哈地区称桃东沟群, 将其归入晚二叠世早期)^[41]之间 $\ln R_0$ -H 曲线出现了明显的错位, 下段的曲线斜率明显大于上段, 多达 4.08~4.82 °C/100 m, 表明了早二叠世早期陆内裂谷活跃时期的高温状况和早二叠世晚期裂谷拗陷阶段、晚二叠世—三叠纪类前陆阶段及侏罗纪拗陷阶段的低温状况(表 1, 2). R_0 测定结果还给出了几个信息: (1) 科牙依凹陷、托克逊凹陷西部、台北凹陷北部山前带和哈密拗陷北部的侏罗系剥蚀厚度巨大^[1], 约在 800~2500 m 之间. (2)托克逊凹陷东、西部差异明显, 西部地温梯度高于东部, 西部侏罗系剥蚀较多, 东部基本未剥蚀. (3) 科牙依凹陷和托克逊凹陷以及台北

表 1 由 TTI 拟合法求取的古地温

地名	井名	R_0 /%	井深/m	T_3 末达到	K_1 未达	N_3 未达	地名	井名	R_0 /%	井深/m	T_3 末达	K_1 未达	N_3 未达
				的温度/°C	到的温度/°C	到的温度/°C					到的温度/°C	到的温度/°C	到的温度/°C
台南凹陷	艾参 1 井	0.57	2173.6	56	64	70	科牙依凹陷	乌苏 1 井	0.64	3075		80	59
		0.663	2707.17	76	60	86			100	76			
		0.733	3298.00	104	79	104		托克逊 1 井	0.67	2512	86	60	
		0.61	2388.50		57	71			0.69	2527	87	61	
		0.664	2661.95	45	65	79			0.64	3240	71	69	
		0.639	2750.44	45				大 1 井	0.69	3493	77	74	
		0.665	2030.00	50		53			0.60	3297	59	59	
		0.61	2792.40	54	58	68			0.66	3717	68	65	
		0.71	3336.10	74	70	80			0.59	T_2k	78		
		0.628	2269.98		47	57							

表 2 不同方法测定的南带不同时期地温梯度^{a)}

时代	P_{1t}	P_{1t-T}		P_{1t-J}		R	N-Q	
方法	R_0	R_0	裂变径迹	R_0	裂变径迹	R_0	井温测井	校正地温梯度
托参 1 井				2.34	2.75	2.08	2.76(中段)	2.33 (中段)
乌苏 1 井				2.08	2.71	1.83		
伊 3 井				2.37	2.64		0.95(中段)	2.33 (中段)
托参 2 井				2.11		1.89		1.61 (中段)
杜 1 井				2.11		1.52		1.65 (中段)
大 1 井				2.46		1.92		
艾参 1 井	4.08~4.60	3.79	2.83			3.10	2.81 (中段)	2.38 (中段)
							3.85 (下段)	3.85 (下段)
玉东 1 井		2.81	2.66			2.91	1.79 (中段)	2.69 (中段)
玉东 2 井		2.87				1.82		2.55
沙参 1 井	>4.82	3.74	3.00			2.12	1.28 (中段)	
鲁南 1 井	4.82	2.40				2.40		
哈参 1 井	4.55							
三堡 1 井	5.39	4.90						
哈 2 井		4.92						2.81
哈北 1 井				3.3				
哈 3 井		4.46						3.28

a) 温度梯度单位: °C/100 m

1) 吐-哈油田将桃东沟群划入晚二叠世早期, 本文将其归入早二叠世晚期

凹陷大部分地区于中侏罗世—第三纪期间为主成藏期, 而台南凹陷在中晚三叠世为主成藏期.

2.2 流体包裹体测温

本次侧重对盆地南带前侏罗系中的次生包裹体进行了均一温度测定, 结合已有测温资料^[1]得到以下成果:

(1) 此类包裹体的形成温度有几个高峰期(图 3), 第 1 组为 50~70℃, 形成压力为 $350 \times 10^5 \sim 540 \times 10^5$ Pa, 主要分布于台北凹陷北部的侏罗系和盆地南带的三叠系和侏罗系中; 第 2 组为 90~120℃, 形成压力为 $500 \times 10^5 \sim 750 \times 10^5$ Pa, 主要分布于台北凹陷周边和哈密凹陷北部侏罗系中; 第 3 组为 130~150℃, 形成压力 $480 \times 10^5 \sim 750 \times 10^5$ Pa(托克逊凹陷和台南凹陷的侏罗系)和 $760 \times 10^5 \sim 1050 \times 10^5$ Pa(台北凹陷西部的侏罗系); 第 4 组为 170~195℃, 形成压力多为 $480 \times 10^5 \sim 660 \times 10^5$ Pa, 多分布在盆地南带的三叠系砂岩中.

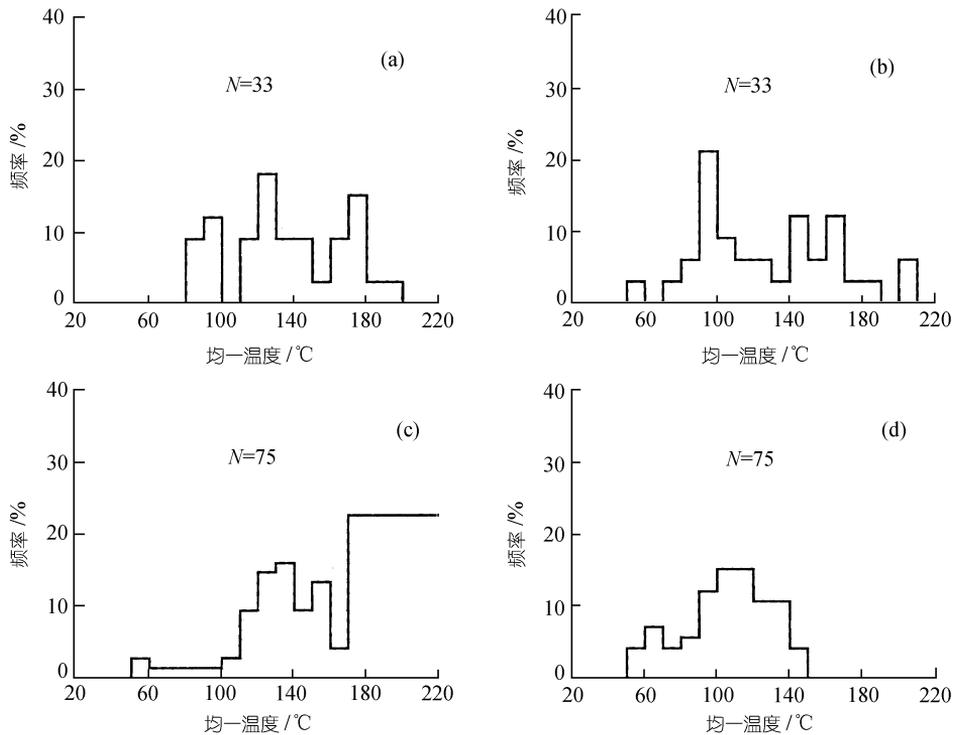


图 3 流体包裹体均一温度直方图

(a) 科牙依凹陷, (b) 杜克逊凹陷, (c) 台南凹陷, (d) 台北凹陷. N 为颗粒数

(2) 对有机包裹体的测温并结合荧光显微镜的观察, 可以估算出油气运移的温度. 本区各井测得的包裹体荧光总体表现不强烈, 仅在科牙依凹陷的三叠系和托克逊凹陷西部的三叠系显示较好, 有机包裹体产生强烈的黄色和蓝色荧光, 说明该区油气至少有两次运移时期, 它们可能主要形成于侏罗纪—第三纪, 运移温度约为 110~160℃.

(3) 系统的测定不同深度带的次生包裹体均一温度可获得地温梯度, 据此测得盆地南带各井地温梯度恰与各井今地温所呈现的 P_1 —C 段的地温梯度一致(见后叙), 表明次生包裹体的主要形成期可能是在第三纪以后, 产出层位以二叠系—石炭系为主.

(4) 对于盆地南带前侏罗系中的包体, 喇曼探针显示出包裹体的液相成分和气相成分大

致相似, 主要由 CO_2 , H_2S , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_6H_6 , H_2O 组成, 但气相中的 C_6H_6 较普遍. 与台北凹陷侏罗系的喇曼探针测定结果相比^[1], 整体也显示出富 CO_2 、富芳香烃、饱和烃/芳香烃多大于 3 的特点. 芳香烃中富菲、萘系列、三芴系列、三芳甾烷系列、苯并藿烷系列和脱羟基维生素 E 系列^[5], 表明是以湖相水生生物作为主要生烃物质, 半咸水、强还原的形成环境.

2.3 磷灰石裂变径迹

前文已论述了吐-哈盆地的几种裂变径迹类型^[1]: 北部山前带的缓慢冷却型年龄(仅有未退火带和部分退火带), 反映了该区带岩层仅经历了缓慢的低温退火过程, 今退火带位置高于古退火带位置, 表明由于燕山运动期间地层抬升剥蚀致使退火带位置变浅; 台北凹陷的冷却型年龄可明显分出未退火带、部分退火带和冷却带, 古、今退火带位置上限一致, 下限略有差异, 说明古地温比今地温略高, 表明该区自早二叠世晚期以后基本处于稳定沉降状态, 岩层经历了长期的、缓慢的加温退火过程; 台南凹陷的生成型年龄也可划分出未退火带、部分退火带和冷却带, 但冷却带形态陡峭(图 4), 说明岩层(二叠系—石炭系)经历了快速退火、快速冷却, 尔后长期处于低温状态下. 图形显示出 160 Ma 之前有一次强烈的构造运动(推测为晚印支运动), 这次运动产生的热可能是造成三叠系—石炭系快速退火的原因之一(见后叙).

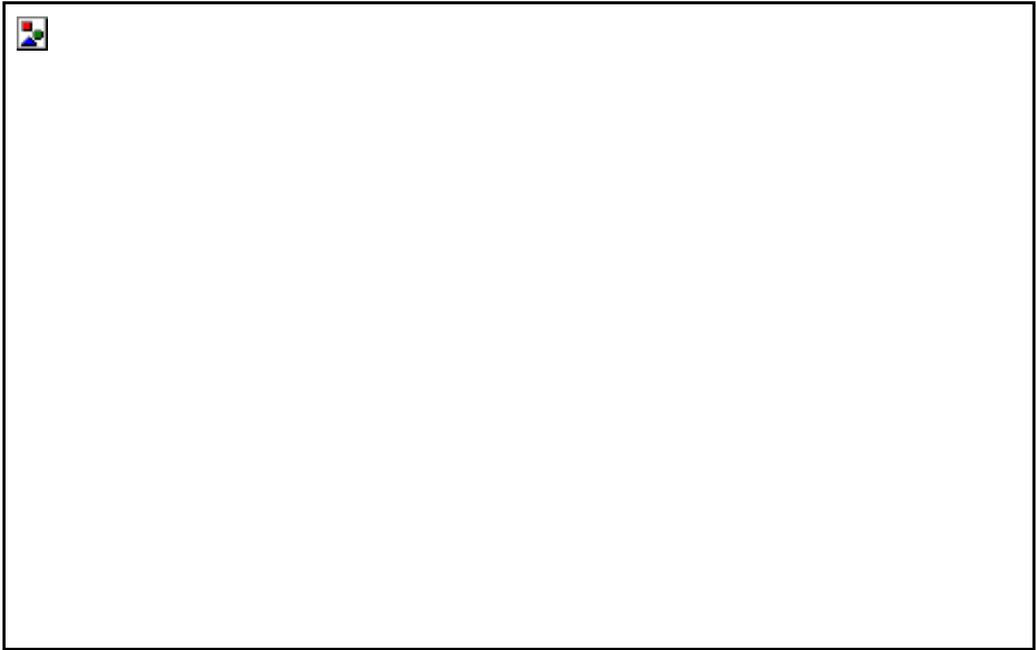


图 4 台南凹陷生成型裂变径迹年龄及径迹长度分布(艾参 1 井)

□—□ 示径迹年龄, ●示径迹长度

本文侧重补充了台南凹陷和托克逊凹陷共 7 口井的裂变径迹测试, 结果表明, 托克逊凹陷北部类似于台南凹陷, 托克逊凹陷南部则类似于台北凹陷北部山前带, 只是退火带深度比山前带大的多. 如托参 2 井(图 5) 3 个样品的地温全部大于 88°C , 正处在磷灰石裂变径迹退火带中, 其中 3595 m 的样品采自下侏罗统, 径迹年龄(237.7 Ma)大于地层年龄(200 Ma). 4451 m 的样品采自上三叠统, 径迹年龄(280.3 Ma)也大于地层年龄(220 Ma), 两样品校正年龄也远大于地层年龄, 说明没有经历过使磷灰石裂变径迹全部退火的热作用. 平均径迹长度为 $11\ \mu\text{m}$, 长

度分布为单峰, 对称性好, 反映地层自三叠纪以来长期处于较低温度下, 现进入退火带内, 但有效加热时间过短. 4538 m 处的样品不论是裂变径迹年龄(160.4 Ma)还是校正年龄(223 Ma)均小于地层年龄(230 Ma), 说明该地层经历了较高的温度. 该地区缺乏冷却带, 部分退火带范围较窄, 现今退火带上限在 96°C 附近, 地温梯度很低. 古、今退火带位置一致, 说明古、今地温梯度一致, 今地温就是岩层经历的最高温度.

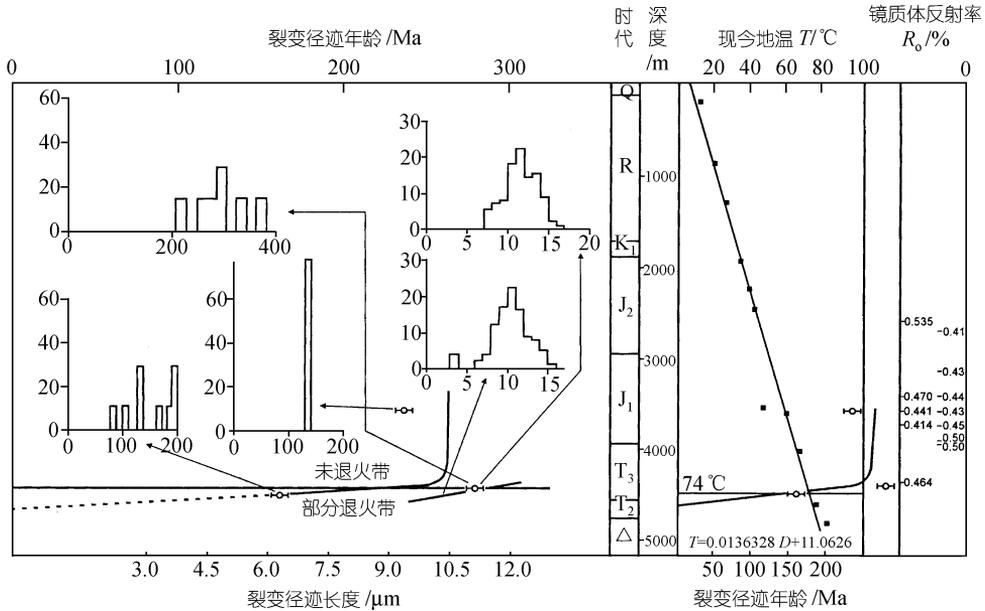


图 5 托克逊凹陷南部缓慢冷却型裂变径迹年龄及径迹长度分布(托参 2 井)

□—○示径迹年龄, ●示径迹长度

2.4 今地温

吐-哈盆地的今地温曲线普遍具有三段式^[6], 下段曲线斜率明显大于中段, 且中段大于上段, 这种特点反映了不同类型岩石热导率的差异以及大地热流、地幔熔融、地壳厚度等因素的影响. 经过试油温度及恒温层温度的校正(表 2), 曲线下段(石炭系—下二叠统)多在 3.55~3.85 °C/100 m, 曲线中段(上二叠统一第三纪)多在 2.38~2.69 °C/100 m(台南凹陷)、2.37~2.78 °C/100 m(台北凹陷)、2.33~1.65 °C/100 m(托克逊凹陷)和 2.81~2.85 °C/100 m(哈密坳陷), 显示出盆地的今地温梯度具有东部大于西部、深部大于浅部的规律, 此规律与古地温梯度的演化规律十分相似, 实际上也反映了古地温梯度的变化趋势.

3 热来源及热对油气生成的影响

上述资料表明, 吐-哈盆地自二叠纪形成以来由一个热盆变为冷盆, 平面上具有东部地温高于西部的特点. 其热演化可大体分为陆内裂谷盆地和坳陷盆地两个阶段, 两阶段所处的构造背景不同, 岩性和沉积环境各异, 因而在后期演化中具有不同的供热机制和热来源.

3.1 幔源热和岩浆体热的影响

早二叠世早期, 吐-哈盆地属裂谷活跃期, 盆地内几乎遍布火山岩, 热流值平均高达

90~115 mW/m²[7], 此时期的地温场成因机制主要是热传导, 即幔源热和地壳中放射性元素衰变产生的热通过岩层源源不断地向地面传导从而形成地温场; 另一种成因机制是众多的岩浆体带来的热引起的热对流. 此时期地温场的规模一般较大, 温度较高, 对石炭系有机质的成熟有着重要的影响. 在哈密坳陷南带、塔克泉凸起和台南凹陷等基岩埋深较浅的幔隆地区温度更高些. 早二叠世晚期, 吐-哈地区正值裂谷坳陷期, 热流值呈下降趋势, 岩浆活动仅限于台南凹陷北部、哈密坳陷南部以及博格达南缘一带, 岩浆形成的高温热源体加热了其周围的岩石, 形成高温异常区, 促进了局部地区早二叠世烃源岩的成熟, 但由于其影响范围有限, 对于盆地广大地区的早二叠世晚期塔儿朗组主力烃源岩的普遍成熟不起决定性作用.

裂谷时期的高地温还受诸多因素的影响, 地壳中放射性元素衰变放出的热和岩石热导率的影响便是主要的两项. 吐-哈地区二叠纪以火山岩、火山碎屑岩为主体的沉积组合无疑存在较多的放射性元素, 它们产生的热量是不可忽视的. 从岩石热导率考虑, 泥岩平均为 2.5 W/mK, 砂岩平均为 3.7 W/mK, 煤平均为 3.0 W/mK, 火山岩平均为 2.3 W/mK, 因此, 以火山岩为主的二叠系的岩石热导率一定低于以砂、泥岩和煤为主的侏罗系—三叠系的岩石热导率, 这也是造成二叠纪高地温梯度的重要原因. 这种差异甚至对二叠纪以后的各时代地热梯度均有明显的影响.

3.2 地热增温和构造运动转化热的影响

晚二叠世至今, 也称低温演化阶段, 此时期地幔物质上涌和深部热流的上升大大减弱, 岩浆活动停止, 其地温的升高主要取决于上覆地层厚度加大引起的地热增温和构造运动产生的机械热. 一般情况下, 随上覆地层的逐渐增厚会由于正常的地热增温率使有机质趋于成熟, 然而在三叠纪末期, 吐-哈地区下二叠统上部塔儿朗组烃源岩的上覆地层厚度均小于 2000 m, 按前述地温梯度基本未进入生油门限. 那么, 盆地南带三叠系稠油藏的形成必须有另外的热源补充. 对于中侏罗统西山窑组的煤系烃源岩来说, 在侏罗纪末期, 台北凹陷中、东部及哈密坳陷其上覆地层厚度约为 2000~2800 m, 古地温达 87~132℃, 进入成熟阶段, 而台北凹陷西部和托克逊凹陷的上覆地层厚 1000 m 左右, 古温度约为 50~75℃, 未进入成熟阶段. 对于下侏罗统八道湾组的煤系烃源岩来说也大致如此. 照此计算, 在侏罗纪末期至早白垩世, 吐-哈盆地的生油门限深度在托克逊凹陷约为 2900 m(三叠系上部), 在台北凹陷西部也为 2900 m 左右(下侏罗统八道湾组), 在台北凹陷中东部为 2000~1800 m(中侏罗统七克台组—西山窑组), 而在哈密坳陷大约在 1300 m 左右(七克台组). 实际上, 台北凹陷侏罗系的烃源岩成熟时期的估算可能不会如此简单. 例如吐-哈地区构造活动频繁, 早、中、晚燕山运动不同程度的使地层抬升遭受剥蚀, 加之地下水和地表水的活动, 均会使地层热量散失, 因此该区始终处在低温状态下. 喜山运动主要表现为由北向南的逆冲作用, 使台北凹陷厚度增大, 这种地壳挤压增厚现象使深部热流难以到达上部, 也是造成该区地温较低的重要原因.

鉴于上述情况, 推测该区大部分地区的下二叠统塔儿朗组烃源岩和中三叠统烃源岩可能由于印支运动的构造转化热提供了热源, 从而补偿、超补偿了地层在前次构造运动中散失的热量, 使地层有了“瞬间”的加温, 促进该套烃源岩在印支期成熟. 台北凹陷中下侏罗统煤系烃源岩的成熟时期可能早在中侏罗世就开始了(特别是台北凹陷中东部及哈密坳陷北部), 这不仅因为台北凹陷巨厚的侏罗系本身由于地热增温达到了一定的温度, 还因为发生于中侏罗世西山窑期末的早燕山运动也是一次构造热事件(较弱). 对吐-哈盆地火山岩进行的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄

