

辽河断陷地热基本特征*

汪缉安 汪集锡

王永玲 张忠义

(中国科学院地质研究所)

(辽河石油勘探局科学技术研究院)

一、辽河断陷地温特征

1. 浅部地温特征

本文所谓浅部地温系指3 km左右以浅地壳表层的地温状况。对浅部地温特点的了解以两部分资料为基础：(1) 历年来积累的70多口钻井系统连续的实际测温资料。一般测深2000—3500 m，最深超过5000 m。这部分资料精度一般较高，是最基本的地温资料。(2) 根据地温与有关地质特点的相关关系，对近600口钻井特定深度所作的地温预测资料。在2000 m深度范围内，预测结果的误差都不超过2℃。根据上述两部分资料，编出全区几个特定深度的地温等值线图(图1-4)，可以对本区的地温特点及其

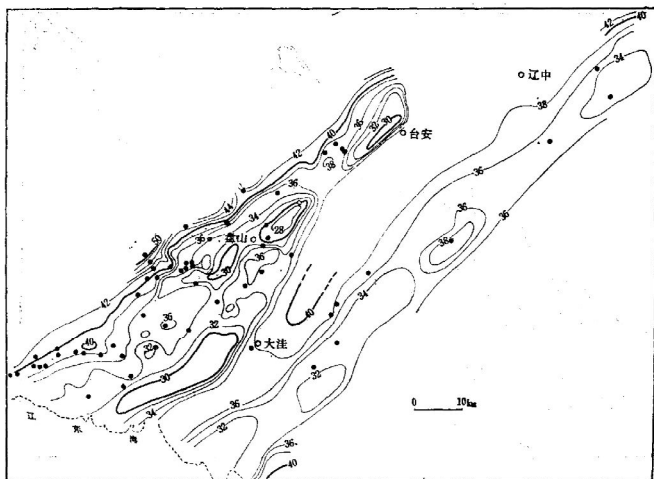


图1 辽河断陷1000m深地温图(℃)

(圆点系实际测温井位，以下的图从略)

*本文系辽河石油勘探局科学技术研究院与中国科学院地质研究所“辽河油田地热研究”课题总结中升华出的内容，由汪缉安执笔。

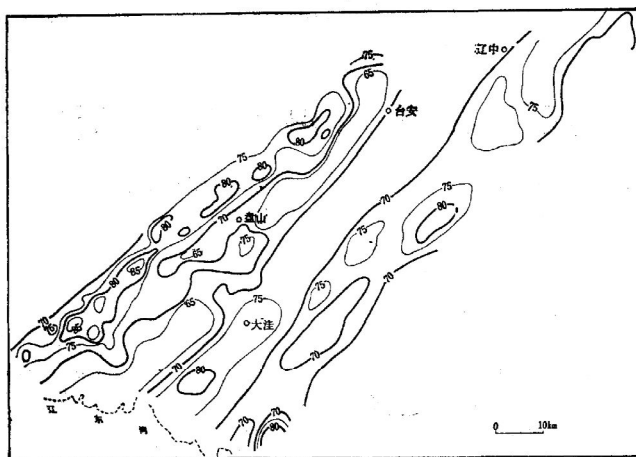


图2 辽河断陷 2000m 深地温图

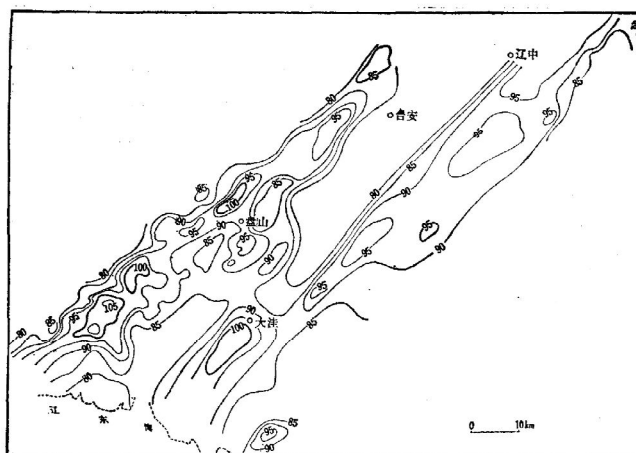


图3 辽河断陷 2500m 深地温图

空间上的变化得到轮廓性的了解。

2. 浅部地温的主要控制因素

在一般情况下，上述数量的实际测温资料对了解象本区这样一个范围不大的区域的地温特点来说，应当是充分的。但是，本区不仅由于前新生代基岩起伏明显，以致浅部

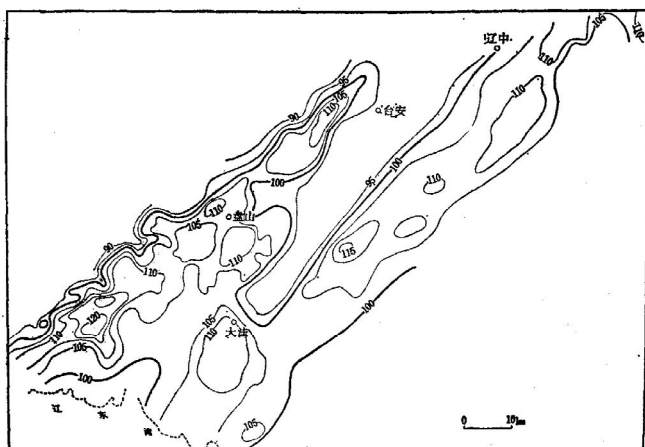


图4 辽河断陷3000 m深地温图

地温存在着明显分异现象, 而且由于地形条件特殊, 地下水复杂的补排系统进一步加剧了地温在平面上与空间上的分异性。因此, 对本区的地温作较切合实际的全面了解, 资料还显得不足, 需要用大量的同时又是比较可信的辅助资料来解决这一问题。为此, 需要对控制地温的一些主要因素作较深入的分析研究。

我们可以从图5中的一些有代表性的实际测温曲线入手来探讨这一问题。此组测温

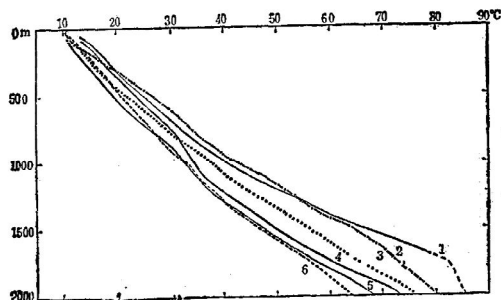


图5 辽河断陷几种地温曲线类型

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1—曙古102井, 基岩乙埋深1756 m, | 2—锦87井, 基岩K埋深1611 m, |
| 3—董6井, 基岩JK埋深2778 m, | 4—双23井, 基岩AnZ埋深约3500 m, |
| 5—马603井, 基岩AnZ埋深约4000 m, | 6—双53井, 基岩AnZ埋深≥4500 m |

曲线最显著的特点是: (1) 1000—1200 m以浅和以深, 同一钻井的地温梯度有极其明

显的差别。(2)不同钻井同一深度地温亦可很不相同。

浅部低温低地温梯度反映了本区主要含水层馆陶组地下水对浅部地温的干扰作用:狭长的盆地地形使冷水以良好的径流条件沿含水层强烈活动,导致了本区很有特色的浅部地温偏低。东营组以至沙河街组上段也在不同程度上受到同样性质的影响,但径流条件无疑已大大减弱,所以到一定深度,地温逐渐趋于正常。显然,这种机理对地温的影响相当复杂。馆陶组含水层既降低了上部地层的地温也提高了下部地层的地温,因此严格地说,无论浅部的低地温梯度或较深处的高地温梯度,都是在不同程度上受到歪曲的结果,虽然后者被歪曲的程度一般小得多。了解这些特点有助于认识本区地温的本来面目,从而有助于较正确地评定大地热流研究的结果。本区平面上的地温分异现象明显地和前新生界基岩埋藏深度相关。由于基岩的传热性能优于盖层,它们的岩性和起伏的幅度、形态与规模,决定着深处传来的热量的再分配情况,基岩的高凸深凹和相应盖层的高低温存在着严格的对应关系。

根据实际分析资料与理论推导可知,岩浆热源和岩石放射性热源都不是明显影响本区今日地温特点的因素。

3. 地温预测的主要依据

将本区实测地温资料和相应地质特点作统计分析,可以得到图6的一系列基岩埋深与盖层地温梯度的相关曲线。这组曲线实际上反映了基岩起伏与地下水活动两大因素对地温场的综合影响,本区近600口钻井的地温预测辅助资料即以图中曲线为依据获得。这些曲线中,以30—1500m(本区测得恒温带深度为30m,温度为10℃)的地温梯度预测曲线线性关系尤为理想,因此,此深度范围的地温预测以此组曲线为准,此深度以下根据相应的地质条件选用相应的预测曲线。

图6左图和右图的差别,是基岩岩性不同(从而与盖层热导率比值不同)对热流的集中与分散影响程度不同的结果。

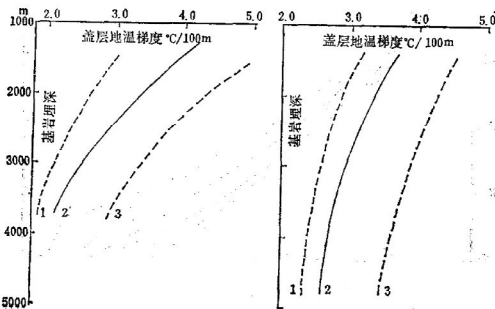


图6 基岩埋深与盖层地温梯度的关系

左图,上元古界基岩 右图,其他岩系基岩 1—第四系+上第三系地温梯度曲线,
2—30—1500m地温梯度曲线, 3—下第三系地温梯度曲线

图1—4所涉及的深度,均有一部分地区已经进入了基岩范围。众所周知,基岩内和盖层内的地温梯度是显著不同的。由于勘探对象重点是新生界,本区基岩段的钻井资料与测温资料很少,但这一区间的地温仍可以得到近似的了解。在无外界干扰的条件下(基岩段这类干扰一般均较小),一钻井内不同井段得到的大地热流值(即地温梯度与相应层段岩石热导率之乘积)应是一个常量。本区实测代表性热流值为 $1.5 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ (即 1.5 HFU 或 $63 \text{ mW}/\text{m}^2$)。据本区及华北地区大量实测数据,可以取下述地温梯度值推算本区基岩段地温:上元古界镁质碳酸盐岩 1.5 , 下古生界碳酸盐岩 2.0 , 上古生界碎屑岩 2.5 , 侏罗-白垩系碎屑岩及火山杂岩 $2.8-3.0$, 古老变质岩系 $2.0^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。

图1—4不同深度地温相对高、低图象出现变化,也正是由于部分地区已进入基岩,增温减慢,而另一部分地区仍在盖层之中,继续快速增温。从图5的曲线1和2可以看到这样的趋势。

4. 研究浅部地温特征的现实意义

本区浅部地温主要受因块断活动所形成的网络交错的基岩起伏与地下水活动的制约。此两种控制因素在平面上与空间上对地温的影响虽有主有次,但不能截然分开。就总体来说,前者的影响表现为地温高低与基岩起伏的清楚对应,此影响进入基岩段才逐渐减弱以至趋于消失。后者突出表现为本区浅部地段地温的异常低值。

事实上,任何一个生油盆地的地温都不会是绝对均一的,这正是油田区研究地热的必要性之所在。对一个区域认定一个不变的生油门限深度值是不严格的。在本区,不同地带的生油门限深度可以有数百米以至近千米的差别。因此,了解具体地温特点对油气评价与勘探设计都有现实意义。图2可供地热资源开发参考。这种资源以往常被忽视,近年来,一些部门已相继开始注视并使用这一前景可观的能源。油田具有利用这一能源的优越条件,在不影响油气资源开发的前提下值得大力推广。从图3和图4可以了解液态石油初步成熟以至高度成熟的可能区域范围,结合其他地质的、有机地球化学的研究,对油气资源评价以至勘探部署都应当是有益的。

二、辽河断陷大地热流特征

如上所述,地壳浅部的地温特点在相当程度上是各种地质因素综合作用使地热产生再分配的结果。高的地热背景有可能在某些地段显示较低的地温,反之亦然。一个生油盆地总的生油能力如何(这里且不涉及别的生油条件)? 油气生成与保存的空间范围如何? 这些对油气资源评价有战略意义的问题,单纯从地温资料往往不易作出全面的回答,而大地热流研究(以及古地温研究等)能给以较好的补充。

当然,我们说大地热流能给出区域地热最直接、最可信的信息,并不是指在任何地带任何条件下所测得的单个热流值都具有这样的功能。很明显,热流值一般是在较浅部位获得的,而它的两个组成因子——地温梯度与岩石热导率,如上所述往往是受干扰的或者不易准确获得的(如松散盖层的热导率测定)。因此,取得有意义的并足以代表区域基本地热特征的热流值大体有两种途径:一是在基岩段取得一定数量的观测值,这样的层段此两个参数都因受干扰较少而比较可信。一是在盖层内通过不同地质构造部位的

大量测量,在较少受干扰的层段作热流计算,并用科学的统计分析方法,求得区域有代表性的热流值。前一方法在本区不具备条件,本文报道后一方法的研究结果。

油田区大地热流研究有着一系列很难完全克服的困难:地温梯度往往是受干扰的,系统的岩心样品不易获得,实验室测试的热导率与原位显然会有差别,即使作岩样饱水测试或孔隙率校正也不等于就是原位状态的真实恢复。这些也正是油田区长期以来成为热流研究薄弱区的主要原因。

热流研究的具体方法与一些主要问题,简述如下:

1. 地温梯度

所有测温并静井时间都较长,大部分测温资料是可信的。为了减少误差,一般不采用下第三系上段以上地层的地温梯度值作热流计算,因为这个区间含水层较为发育,且径流条件较好,计算出的热流值常比深部层位计算值低20—50%。

2. 岩石热导率

浅部地层压实程度较差,原位时一般饱水,饱油或饱气,在实验室作干样测试时往往会得到相当低的热导率值。饱水实验表明,此偏低幅度甚至可达50%以上。但是样品饱水测试不仅是繁琐的,而且也很难说就是岩样原状的真实恢复。较为简便的方法

同样是利用较深地层的样品进行测试。据北方地区一些油田的压实实验,若松散盖层埋深(包括历史上最大埋深)为2500—3000m,孔隙率一般可降低到10%以下,在此条件下岩样在实验室测得的热导率与原位实际值相差较小。

油田区岩样较少,且取样往往不连续,是研究热流的另一困难。可行的办法是根据地层层位、岩性、埋藏深度经综合分析拼接为少数较完整的“标准”热导率剖面,作为不同地区计算热流值的依据。

本区测试了约110个岩石样品的热导率(图7)。这些样品主要来自下第三系,个别样品来自基岩。这些岩样埋深(或历史埋深)较大,成岩程度较高,可以认为其热导率值较接近原位的实际。但是由图7仍可发现,层位(也大体上

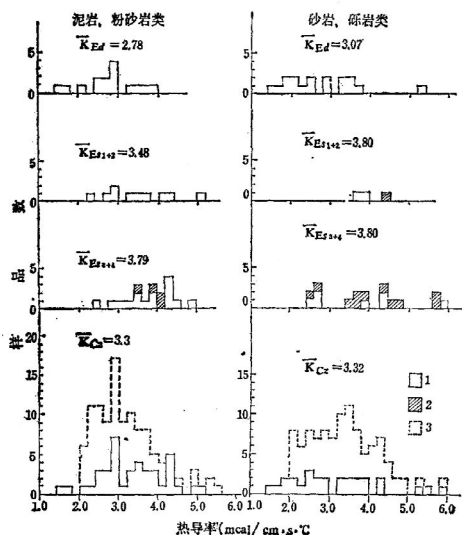


图7 辽河断陷新生界热导率统计分析

1—辽河油田,中国科学院地质研究所测定值, 2—辽河油田,国家地震局地质研究所测定值(未参加平均), 3—华北地区新生界部分测定值(据中国科学院地质研究所)

反映深度)不同仍有差别。此差别显然主要不是岩性问题而是压实程度不同所致,较浅部样品的测试值仍不同程度地因失水而低于原位的实际值。因此,作热流计算时着重考虑深部层位的测量结果。

将热导率测试结果按地区与层位拼接为 4 个岩石热导率标准柱, 分别用于本区东部凹陷与西部凹陷的南、北带共 4 个地区的热流计算。由于泥岩类热导率常和粗碎屑岩类有一些差别, 按本区区域地质特点各地层组两大岩类的一般比例取加权平均值, 最终选用的热导率计算参数列于表 1。各柱状剖面在缺失某地层段岩心(或测试岩样过少)时, 则借用邻区的值。

表 1 各岩系用于计算热流的热导率参数¹⁾

地 区					地 区						
		泥岩类 平均热导率	砂、砾岩类 平均热导率	用于计算热流 的热导率值			泥岩类 平均热导率	砂、砾岩类 平均热导率	用于计算热流 的热导率值		
西部凹陷	北段	Ed		2.943	东部凹陷	Ed	3.636	3.569	3.614		
		Es ₁		2.877*		Es ₁	3.882	3.743	3.836		
		Es ₂		3.021*		Es ₂	3.882	3.743	3.789		
		Es ₃	3.071	4.073		3.322	Es ₃	3.829	3.743*	3.808	
		Es ₄	3.950	2.562		3.603	Es ₄	4.363	3.743	4.208	
	南段	Ed	2.679	3.166	2.841	南部凹陷	Ed			3.614*	
		Es ₁	2.732	3.166*	2.877		Es ₁				3.836*
		Es ₂	2.732	3.166*	3.021		Es ₂				3.789*
		Es ₃			3.322*		Es ₃	3.472	5.056		3.868
		Es ₄	4.309	3.166*	4.023		Es ₄				4.208*

* 借用邻区的值。 ** 热导率单位为 $\text{mcal}/\text{cm}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}$ (TCU), $1\text{TCU}=0.4187\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$.

中国科学院地质研究所陆秀文、杨淑贞、张容燕测量(基岩测量值未列入)。

3. 热流计算

除测温资料有明显误差的个别钻井外,全部测温井均按表 1 给定的热导率参数与相应实测的地温梯度作了热流计算,简化的最终结果列于表 2 与图 8。浅部得到的计算值往往偏低,表 2 中给出了“选用热流值”。少数仅有浅部层位偏低明显的值则不给此值,但如果埋深较大仍具有参考价值,则用括号标明。

由表 2 可见, 本区热流值为 1.2—1.7 HFU 者约占全部测量数的 74%, 频率最高区为 1.4—1.7 HFU。总的算术平均值为 1.48 HFU, 如除去括号中的参考值则平均为 1.52 HFU。表中全部井的平均深度约为 2920 m, 大体接近全区平均基岩埋藏深度。因此, 取本区区域平均热流为 1.5 HFU 是可信的, 此值和华北平原大体相同。相对高的热流值主要出现于古港山区、凹陷边缘的斜坡带和中央凸起带, 低值一般在深凹陷带。

4 大地热流研究的意义

这里仅从油气资源评价的角度来看研究大地热流的必要性。由于本区大地热流值反映了本区的基本地热特征, 不管浅部地热以何种方式和何种程度进行再分配从而形成各个地段平面上与空间上的地温差异, 但这个值给出了区域性的总热量, 给出了评价烃类

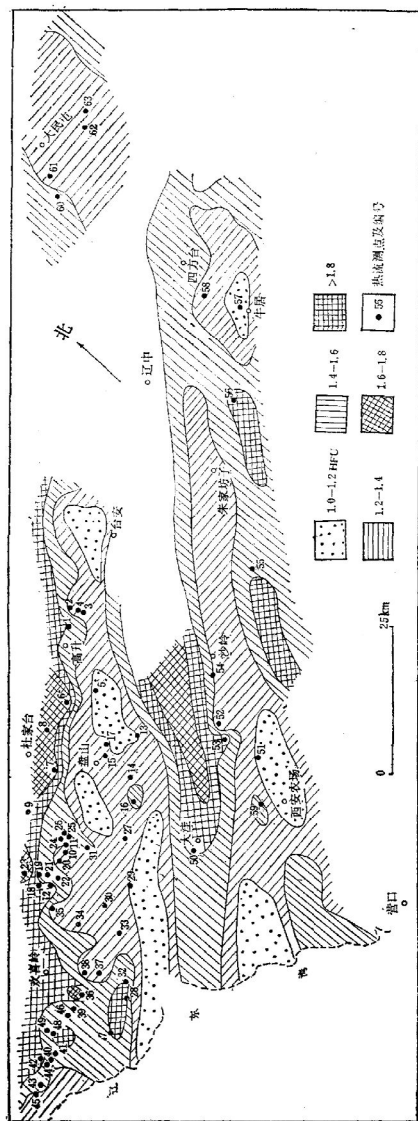


图8 辽河断陷区域热流图

表2 辽河断陷热流测试一览表

序号	井号	分层热流 (HFU) *					基岩及埋深(m)	备注
		Ed	Es ₁	Es ₂	Es ₃	Es ₄		
1	高1-3-9		0.888		1.584		1.58	J, 1750
2	高13	0.989						J, 2250
3	高3-8-13	0.920	1.269				1.27	J, 2700
4	高1505	0.936	1.043		1.375		1.38	J, 2150
5	郎1	0.582						Z, 3500
6	长古1	0.598	0.891		1.721	1.952	1.84	Z, 1916
7	曙古102	1.044	1.149		2.043	2.051	2.05	Z, 1756
8	曙71	0.830	0.923		1.827		1.83	Z, 1756
9	曙14		1.055		1.776		1.78	Z, 1611
10	曙2-6-07	0.758	1.042		1.279		1.28	J, 2500
11	曙2-7-009				0.969	1.252	1.25	Mz, 2400
12	曙1-3-5			1.351	1.652		1.85	J, 1980
13	冷11	1.003	1.161		1.042		1.16	AnZ, 3200
14	兴98	1.384					1.38	AnZ, 3000
15	兴302	1.108					(1.11)	Z _T ≥ 3000
16	兴桂1	1.126	1.559				1.56	AnZ, 3000
17	兴北1	1.08	1.25	1.02	1.49		1.49	AnZ, 3200
18	杜67		1.18		1.37	1.61	1.61	Mz, 1390
19	杜87		1.276		1.503		1.50	J, 1500
20	杜55	1.080	1.288		1.156		1.29	J, 2200
21	杜52		1.390		1.505		1.51	Z, 1475
22	杜65	0.784	0.917		1.166	1.511	1.51	Z, 2342
23	杜70					1.993	1.99	Mz, 924
24	杜古4	0.759	1.139		1.483		1.48	Z, 2124
25	杜古38	0.888	1.338		1.710		1.71	Z, 2374
26	杜古37		1.119		1.639		1.64	Z, 2139
27	马603	1.065					(1.34)**	AnZ, 4000
28	双94	1.23	1.11				(1.23)	J, 5000
29	双53	0.98					(1.06)**	AnZ, 5000
30	双55	0.988						AnZ, 3800
31	双23	1.023	1.418		1.327		1.42	AnZ, 3400

续表 2

序号	井 号	分 层 热 流 (HFU) *					选 用 热流值 (HFU)	基岩及埋深 (m)	备 注
		Ed	Es ₁	Es ₂	Es ₃	Es ₄			
32	双91	1.270	1.676				1.68	J, 5000	
33	双深3	0.834	1.067		1.030	1.329	1.33	J, 4948	q _j =1.35
34	齐2-20-7	1.04	1.36	1.02	1.53	1.37	1.53	AnZ, <3000	地层划分系近似值
35	齐1		1.013					J, 2136	
36	欢4	1.280	1.312		1.830		1.83	J, 2550	
37	欢70	1.043					(1.04)	J, 4000	测温前喷油气
38	欢15-14	1.068					(1.07)	J, 2900	
39	锦89	0.99	1.27	1.32	1.43		1.43	Mz, 1910	
40	锦93	1.08	1.08		1.46		1.46	Mz, 1650	
41	锦91	0.914	1.230		1.541		1.54	Mz, 1800	
42	锦92	1.040	1.475		1.561	1.693	1.69	Mz, 1464	
43	锦88	0.863	1.229		1.499		1.50	Mz, 1800	
44	锦94	1.278	1.404		1.293		1.40	Mz, 1626	
45	锦87	0.929	1.191		1.375		1.38	Mz, 1611	
46	锦203	0.921	1.374		1.424		1.42	J, 1700	
47	锦117	1.303	1.804				1.60	J, 5000	
48	锦83	0.946	1.097		1.655		1.66	J, 1881	
49	锦84	1.193	1.060					J, 1515	
50	洼7	1.198	1.539			1.791	1.79	K, 1958	
51	黄10-1	1.118	1.172				1.17	Mz, 5000	
52	开2	1.254					(1.25)	K, 2800	
53	开1	1.203	1.367		1.680	1.728	1.70	K, 2700	
54	董6	1.362					1.36	K, 2778	
55	界3	1.180	1.240			1.543	1.54	J, 1900	
56	龙24	1.176	1.550		1.643		1.64	Mz, ≥3500	
57	牛3	1.091	1.189				1.19	AnZ, 5000	
58	牛11	1.111	1.285				1.29	AnZ, 5000	
59	桃6	1.47	1.59		1.54		1.59	Mz, 5000	
60	沈27	0.784	1.283		1.544		1.54	AnZ, 2800	
61	沈77		1.183		1.376		1.38	AnZ, 2800	
62	新沈74					1.17	(1.17)	AnZ, 2947	
63	胜10		1.11	1.08	1.12		(1.12)	AnZ, 3000	

*1HFU=41.87mW/m², **Ed以下层段的计算值, 因此层段很短, 未在表中标出。

分布范围与数量的参数。

对油气资源来说,这是一个比较适中的理想值。众所周知,油气在一定温度(深度)条件下成熟、演化、保存与消亡。人们既希望它们能在较浅处生成,又希望它们在较深处仍然能够保存。显然这是一个矛盾。地温过高(梯度过大),烃类可望在浅处生成,但其存在的深度下限也随之变小。反之,如果地温过低,则或者油藏深而不利于开发,或者生油岩因埋深浅、温度不足而无生油的可能。

取新生界平均热导率为 $4 \text{ mcal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$, 并取 90° 和 160°C 为液态石油大量生成与保存的上、下温度界限, 1.5 HFU 的热流值意味着开始大量生油的平均深度约为 2100 m , 液态窗的下限深度平均约为 4100 m , 这个深度区间恰好是最有利于生油的岩系(沙河街组)的位置。相反,如果象曾经报道的那样,本区的大地热流值高达 2.2 HFU 以上,则地温梯度平均约为 $5.6^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, 而液态窗的起止深度分别为 1450 m 和 2600 m , 可能生油的空间仅为前一值的 60% 。如果进一步考虑到此深度范围的相当一部分是生油能力较差的东营组的位置所在,前景还要更为不乐观些。当然,这些结果和油田的实际显然也是不相符的。同理,如果本区热流强度与四周的古老稳定地块相同,为 $1.0 - 1.1 \text{ HFU}$, 上述温度界面将分别为 3000 m 和 5500 m , 不仅对油气的勘探与开发不利,而且在相当大的一部分地区内新生界根本就不具备大量生油的实际潜力。

(收稿日期 1985年3月2日)

GEOHERMAL CHARACTERISTICS OF LIAOHE GRABEN

Wang Jì'ān Wang Jì'āng

(Research Institute of Geology, Academia Sinica)

Wang Yongling Zhang Zhongyi

(Research Institute of Science and Technology, Liaohe Petroleum Administration)

Abstract

The prominent feature of regional geotemperature pattern of Liaohe graben is revealed as follows:

1. A lower geothermal gradient (about $25^\circ\text{C}/\text{km}$) is inherent for the Cenozoic sedimentary strata with a depth shallower than $1,000 - 1,200 \text{ m}$;
2. Deeper than that depth, a higher geothermal gradient ($35 - 40^\circ\text{C}/\text{km}$) is observed. This is similar to that of other oil-bearing districts in North China.

The intensive circulation of ground water and the structure of the Pre-Cenozoic bedrock are considered as major factors controlling geotemperature pattern in the region studied.

Based on temperature measurements of more than 70 wells and hundreds

geotemperature data inferred by predictive method recently developed for this study, a set of isotherm maps of different depths has been completed for the whole area with the purpose of specifying the oil-genesis threshold depth, assessing oil-gas resources as well as prospecting oil and gas in the district.

Heat flow measurements at 54 sites give a mean value of 1.52 HFU (63.6 mW/m^2) with prevailing value 1.4 to 1.7 HFU. The results are similar to the heat flow measurements in other oil-bearing districts in North China. Suitable geotemperature condition together with abundant organic materials in Cenozoic sediments, as well as appropriate geological settings and tectonic environment, are considered to be the main factors favorable to the existence of potential oil resources in this area.

全国第二届碎屑岩沉积相学术讨论会在大庆召开

全国第二届碎屑岩沉积相学术讨论会, 于9月20—27日在大庆市召开。参加会议的有中国科学院、地质矿产部、高等院校和石油工业部各油田有关科研、生产机构的114位代表。会议收到论文摘要151篇, 全文68篇, 宣读论文55篇。参观了大庆油田岩心库与松辽各种典型沉积环境的岩心, 并作了野外地质考察。

会议交流总结了1980年第一届碎屑岩沉积相学术讨论会以来的主要成果与进展。介绍了国外沉积学研究有关河流、风暴流、浊流地质事件学、现代沉积学等方面的动态与现状, 讨论了我国碎屑沉积学发展方向及如何更好地为油气和沉积矿产勘探开发服务等问题。

会议指出, 自1980年全国第一届碎屑岩沉积相学术讨论会以来, 我国沉积学研究领域不断扩大, 研究工作日益深入, 不论基础理论、生产应用、新技术新方法推广、人才培养等方面都有新的进展。

在沉积相方面, 由研究相模式相标志发展到对全盆地沉积体系的研究, 对断陷湖盆陡坡缓坡等不同环境的砂体及凹陷湖盆砂体类型的研究; 对盐湖沉积环境的研究有了新的进展; 对浊流形成机制及空间分布的研究进一步发展; 对不同类型的河流、三角洲沉积研究更深入了一步, 并提出了我国中、新生代陆相沉积类型划分方案。

储层沉积学研究取得了可喜成果, 并向微观沉积相发展, 已应用于二次采油与指导新区开发; 开始建立我国陆相环境下储层非均质模式, 接近国际先进水平。

后生成岩作用的研究, 指出了不同地质条件下次生孔隙形成条件、演化与鉴别标志、研究方法及其在油气勘探中的应用。

在新技术新方法推广方面, 地震地层学已在沉积相研究上普遍应用; 现代沉积、计算机技术与新的实验方法的研究与应用都有新的进展。

会议认为, 今后要加强湖盆现代与古代沉积学的综合研究; 加强盆地与沉积体系的研究; 要有计划地编制我国中、新生代岩相古地理图; 要开展各类沉积砂体的研究; 开展湖盆微观沉积相的研究; 加强现代湖盆综合考察; 加强信息交流, 搞好培训工作, 以开拓我国沉积学的新局面, 更好地为油气和沉积矿产勘探服务。

(钱央中)