

四川盆地地温梯度及几个深井的热流值

韩永辉 吴春生

(西南石油地质局地质综合研究大队, 成都 610081)

利用四川盆地100余口石油探井的地温资料, 编制了地温梯度等值线图; 并利用这些深井岩芯进行了岩石热导率的测定, 获得各时代地层热导率数据58个; 又选取在同一研究段既有可靠地温梯度资料又有岩芯热导率测试资料的6口深井进行了热流值计算。地温梯度及热流值均以川中为最高, 向四周降低。

关键词 四川盆地 地温梯度 岩石热导率 大地热流值

作者简介 韩永辉 男 49岁 工程师 石油地质

利用盆地内石油钻井所提供的有利条件, 获取地温资料, 并利用钻井岩芯进行热导率测定, 从而得到了6口深井的热流值。

一、地温 and 地温梯度

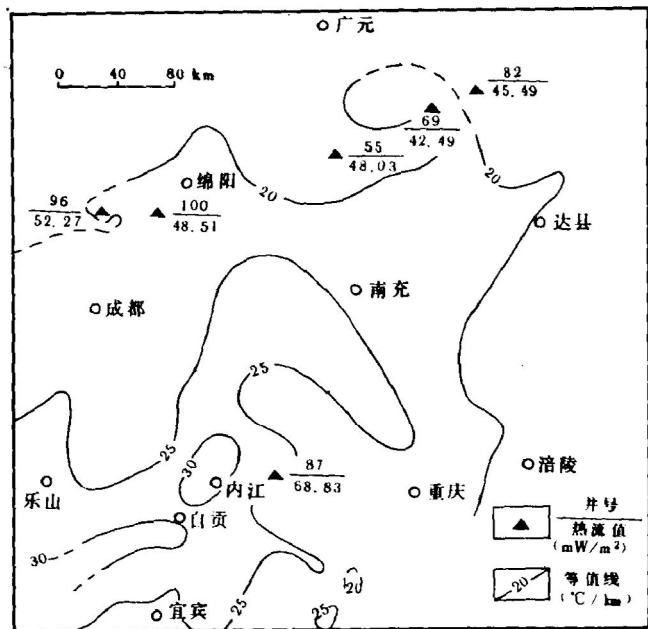


图1 四川盆地地温梯度等值线图

我们收集整理筛选出100余口井的温资料, 编制了四川盆地平均地温梯度等值线图(图1)。所用资料大致分为三类: 第一类是静井时间长, 基本达到地层温度与井液温度热平衡条件下实测的温度, 这类资料最可靠真实, 但数量少。第二类是在中途测试或完井测试过程中, 所测定的油气层的地层温度, 其值也比较可靠, 此类资料约占1/3强。第三类是不同深度的岩层打开后, 在几个到十几个小时之内所测得的泥浆液的温度, 虽然泥浆温度与地层温度没有达到平衡, 但对于井底这一个测点来说, 岩层打开时间短, 泥浆污染较轻, 因而地层和泥浆热交换快, 一般几个小时即可达到或接近平衡状态, 所以, 井底泥浆温度可以比较真实地反映井底岩层温度, 据经验其误差在 1°C 土。

利用上述地层温度、测温点的埋深及地表年平均气温计算出地温梯度, 由于没有考虑不同深度岩性等对地温梯度的影响, 所以

称这一地温梯度为某口井的平均地温梯度。从图1看出川中地区地温梯度最高 ($25-30^{\circ}\text{C}/\text{km}$)，向川西、川北、川东降低 ($20^{\circ}\text{C}\pm/\text{km}$)。

利用上述平均地温梯度计算大地热流值显然是太粗糙了。因此，挑选6口深井计算热流值(表1)，温度与深度线性关系明显，利用线性回归方法计算地温梯度。

表1 6口深井温度资料表

井号	井底深度 (m)	井底温度 ($^{\circ}\text{C}$)	线性回归计算		测温时间	测温方式
			梯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	相关系数		
D100	1752	61	18.95	0.994	1986.10.22—25	井温测井 井温测井 井温测井 中途测试温度 井温测井
	3190	88			1986.12.29—31	
	4215	106			1987.3.2—3	
	4816	114			1987.4.14—19	
	5429	134			1987.6.13—19	
D87	2483	74	33.35	0.997	1987.3.15—17	中途测试温度
	2546	75.75			1987.3.15—17	
	3500	105				
	3763	118				
D55	1500	48	22.03	0.998	1984.4.24	中途测试温度
	1800	54			1984.4.24	
	2000	58.5			1984.5.25	
	2100	61			1984.6.16	
	2200	62			1984.6	
	2500	69			1984.6	
	2850	78			1984.11.29	
D69	2574	62.5	21.79	0.999	1985.10.29	完井测试温度
	3500	83			1985.7.14	
	4000	93.5			1985.6.25	
D82	3890	88	17.70	0.870	1987.4.6	井温测井温度
	4280	92			1987.4.6	
	4304	95			1987.10.9	
	5010	109.8			1987.10.9	
D96	1857	54	17.90		1986.5.4	完井试油温度
	2639	68			1986.3.16	

二、地层热导率资料

地层热导率是计算大地热流的基本参数之一，严格地说应在原地对研究对象进行测量，但由于条件限制，一般还是把研究的样品送实验室测定。我们这次仅在10口深井岩芯中采样58件，分送中国科学院地质研究所和四川省地质矿产局攀西地质大队用两种不同的仪器进行热导率测定，测试数据见表2。

热导率资料作出的频率图(图2)表明，有两个峰值，一个为2—2.5W/mk，另一个为3—3.5W/mk。把热导率资料按地层时代统计列于表3，粗略地给出盆地各时代地层的平均热导率，在缺少热导率资料的情况下，可以用此表的平均热导率大致计算热流值。

本次热流计算所用热导率参数除D55井使用表3给出的参数外，其余5口井均使用研究段实测的热导率，这样提高了热流值的可信度。与表1相应的6口井研究段热导率列于表4。

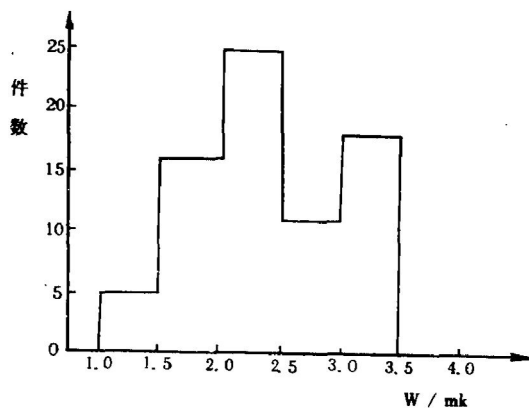


图2 岩心热导率频率图

表2 10口深井岩芯热导率测试数据表

井号	样品深度 (m)	岩性	时代	热导率(W/mk)	测试方法	测试单位
D100	4328.53—4329.51	页岩	T ₃	2.0791	环形热导法	中国地质研究所
	4329.51—4336.61	粉—细砂岩		3.144		
	4336.61—4340.35	炭质页岩		1.7141		
	4095.80—4098.00	细粒岩屑石英砂岩		3.0796		
	5061.44—5061.94	石英砂岩		2.7628		
D87	2565.00—2573.60	灰岩	T ₁	1.766	GRD-1型快速热导仪	攀西地质大队
	3494.00—3502.15	灰岩	P ₁	2.195		
	3534.00—3534.88	灰岩	P ₁	2.101		
	3791.99—3800.45	灰岩	P ₁	2.388		
	3915.88—3921.10	灰岩	S ₂	1.890		
D55	2906.00—2982.00	页岩	J ₁	1.851	GRD-1型快速热导仪	攀西地质大队
	3087.01—3090.00	页岩	J ₁	1.858		
	3162.52—3163.56	粉砂质泥岩	J ₁	2.686		
	3220.98—3222.84	粉砂质泥岩	J ₁	3.618		
	3415.84—3417.07	粉砂质泥岩	T ₃	2.531		
	3518.41—3518.57	粉砂岩	T ₃	2.599		
	3698.64—3698.80	岩屑石英砂岩	T ₃	2.189		
	3824.59—3825.11	岩屑石英砂岩	T ₃	2.540		
	4059.40—4060.30	粉砂岩	T ₃	3.764		
	4132.78—4133.81	含膏白云岩	T ₂	3.199		
D69	3644.90—3653.69	岩屑砂岩	J ₂	2.078	GRD-1型快速热导仪	攀西地质大队
		紫红色泥页岩	J ₂	1.796		
		紫红色泥页岩	J ₂	1.791		
	3699.31—3704.85	紫红色泥岩	J ₂	1.961		
		紫红色泥岩	J ₂	1.765		
	3761.19—3766.79 3800.81—3805.86 3851.86—3859.36 3920.50—3928.93 3994.95—4002.35 4002.35—4012.55 4060.74—4070.00	砂岩	J ₂	1.951		
		砂岩	J ₁	1.792		
		砂岩	J ₁	2.263		
		长石石英砂岩	J ₁	2.365		
		页岩	J ₁	2.305		
		页岩	J ₁	1.792		
		页岩	J ₁	1.493		
D82	2927.00—2935.50	微晶白云岩	T ₂	2.030	环形热导法	中国地质研究所
	3077.96—3083.65	微晶白云岩	T ₂	2.014		
	3515.69—3516.60	含膏微晶白云岩	T ₁	3.463		
	3890.70—3897.17	微晶白云岩	T ₁	2.906		
	4004.65—4005.40	泥晶白云岩	T ₁	3.451		
	4773.15—4778.85	泥晶白云岩	T ₁	2.143		
	4815.23—4823.12	微晶白云岩	T ₁	2.039		
		微晶灰岩	T ₁	1.851		
D96	1936.00—2554.60	含钙岩屑石英砂岩	J ₂	3.061	环形热导法	中国地质研究所
		长石岩屑砂岩	J ₂	3.045		
		岩屑砂岩	J ₂	2.651		
D111	2452.97—2489.20	岩屑砂岩	J ₂	2.752	环形热导法	中国地质研究所
		岩屑砂岩	J ₂	2.157		
D1	3428.21—3433.00	粉—细粒砂岩	T ₂	3.700	GRD-1型快速热导仪	攀西地质大队
D81	3119.44—3125.23	灰岩	T ₁	1.908		
	3278.87—3280.18	泥晶白云岩	T ₁	1.703		
	3751.50—3252.50	泥岩	T ₁	2.014		
	4281.23—4287.65	含灰质泥页岩	P ₂	2.243		
	4541.88—4546.61	微晶硅质岩	P ₁	2.108		
DC1	2103.23—2105.71	石英岩屑砂岩	J ₂	2.450		
	2177.00—2179.10	粉砂岩	J ₁	2.646		
	2801.00—2803.13	粉砂质泥岩	J ₁	2.336		
	3063.92—3054.42	粉砂质泥岩	T ₃	3.440		
	3500.26—3505.70	泥质白云岩	T ₂	2.180		
	4162.55—4162.95	泥晶白云岩	T ₁	3.352		
	4469.58—4473.21	泥质白云岩	T ₁	2.231		

表3 各时代地层实测热导率的平均值

地层时代	测试的主要岩性	平均热导率 (W/mk)	测试块数
K	岩屑砂岩	2.408	3
J ₂	碎屑岩	2.177	15
J ₁	碎屑岩	2.250	12
T ₃	碎屑岩	2.713	11
T ₂	碎屑岩	2.625	5
T ₁	碳酸盐岩	2.415	14
P	碳酸盐岩	2.326	6
S	碳酸盐岩	1.890	1
Є	碳酸盐岩	3.093	3
Z	花岗岩	2.230	3
P ₂ β	玄武岩	1.401	1
盆地总平均		2.39	74

注：此表除表2的10口深井样品外，还包括部分地面样品的测试值。

表4 6口深井研究段的热导率

井号	研究段深度 (m)	热导率 (W/mk)	样品块数
D100	4328—5062	2.56	5
D87	2565—3921	2.07	5
D55	1540—2850	2.18*	
D69	3644—4070	1.95	12
D82	3890—4823	2.57	5
D96	1936—2554	2.92	3

注：热导率为算术平均值；*采用表3中J₂的值。

三、热流值的计算

热传导的基本规律是傅立叶定律，在一维情况下该定律表示为：

$$q = -k \frac{dT}{dz}$$

式中 q —为热流 (mW/m^2)； k —为热导率 (W/mk)； dT/dz —为地温梯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)；负号表示热流向温度低的方向流动，与温度增加的方向相反。

根据前面得到的地温梯度 (表1) 和热导率测定值 (表4)，利用上述公式计算热流值 (表5，图1)。

盆地内6个热流值的平均值为 $50.93 \text{ mW}/\text{m}^2$ ，低于苏北和苏南盆地的热流平均值 ($64.4 \text{ mW}/\text{m}^2$, $71.9 \text{ mW}/\text{m}^2$)^[1]，也低于华北盆地 ($56.48—61.5 \text{ mW}/\text{m}^2$)^[2]。但四川盆地6个热流值差异较大，以川中地区的D87井最高，川西 (D100, D96)、川北 (D55, D69) 及川东北地区 (D82) 相对较低。说明四川盆地各部分之间在构造特征、发展历史及深部壳幔结构等方面存在较大差异。

上述6个热流值可称深井热流值。与通常说的地表热流值是有差别的。因为深井热流没有考虑研究段以

上地层中放射性元素产生的热的影响,必须根据上覆地层放射性元素含量及厚度进行校正才能得到地表热流值。

表5 热流值数据表

井号	温度与热导率共同研究段深度 (m)	时代	厚度 (m)	岩性	热导率 (W/mk)	地温梯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	热流值 (mW/m ²)
D100	4215—5262	T ₃	847	碎屑岩	2.56	18.95	48.51
D87	2483—3921	T—P	1418	碳酸盐岩	2.07	33.25	68.83
D55	1500—2850	J ₂	1350	碎屑岩	2.18	22.03	48.03
D69	2574—4070	J	1496	碎屑岩	1.95	21.79	42.49
D82	3890—5010	T ₁	1120	碳酸盐岩	2.57	17.70	45.49
D96	1857—2639	J ₂	782	碎屑岩	2.92	17.90	52.27

参 考 文 献

- 1 王书良等. 下扬子区 HQ-13 线大地热流特征初步研究. 南京大学学报 (地球科学), 1969 (4).
- 2 陈墨香. 华北地热. 北京, 科学出版社, 1988.

GEOHERMAL GRADIENT AND HEAT FLOW VALUES OF SOME DEEP WELLS IN SICHUAN BASIN

Han Yonghui Wu Chunsheng

(Geological Brigade, Southwest Bureau of Petroleum Geology)

Abstract

The geothermal gradient contour chart of Sichuan Basin shows that geothermal gradient of Central Sichuan is $25 \sim 30^{\circ}\text{C}/\text{km} \pm$, and it decreases to $20^{\circ}\text{C}/\text{km}$ in the western, northern and eastern parts of the basin. A profile showing the basin's heat conductivity was made based on 58 data of heat conductivity measured from some deep well cores and the heat flow values of 6 deep wells were calculated as follows: D-87 well in Central Sichuan is $68.83\text{mW}/\text{m}^2$; D-100 well and D-96 well in Western Sichuan are $48.51\text{mW}/\text{m}^2$ and $52.27\text{mW}/\text{m}^2$; D-55 well and D-69 well in Northern Sichuan Basin is $48.03\text{mW}/\text{m}^2$ and $42.49\text{mW}/\text{m}^2$; D-82 well in Northeastern Sichuan Basin is $45.49\text{mW}/\text{m}^2$. The average value ($50.83\text{mW}/\text{m}^2$) is lower than North Jiangsu, South Jiangsu and North China Basin.