

文章编号:1001-1986(2001)05-0004-03

开封凹陷区地温场特征及成因机制探析

王心义^{1,2}, 聂新良³, 赵卫东¹ (1. 焦作工学院资环系, 河南 焦作 454159;

2. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875; 3. 焦作市节水办, 河南 焦作 454000)

摘要:以 40 眼地热井资料为基础, 研究了开封凹陷地区地热系统的地温、地温梯度及地表热流值的分布特征; 结合地质构造及地下水活动规律, 说明了控制地温分布的因素及地热系统的成因机制。

关键词:地热系统; 地质构造; 地下水运动; 开封凹陷区

中图分类号:TK 521.1 文献标识码:A

1 引言

开封凹陷区位于华北平原中部, 面积约 7 000 km²。现有开采第四系下更新统(Q₁)和新第三系(N)热储层的、深度 440~1 580 m 的地热井 100 余眼, 水温 25~65°C。

2 地温分布特征

2.1 恒温带的确定

根据开封市 1995 年 24 眼浅井的测温数据, 开封市恒温带深度约为 20 m、温度 15.9°C。开封市位于凹陷区中部, 故凹陷区恒温带数据取与开封市相同值。

2.2 地温梯度分布特征

根据表 1 所列 40 眼地热井的水温, 利用下式可计算地温梯度:

$$\theta = 100(T - T_0)/(Z - Z_0), \quad (1)$$

式中 T_0 、 Z_0 —— 恒温带温度(°C)和深度, m;

T 、 Z —— 水温(°C)和成井段平均深度, m;

θ —— 地温梯度, °C/100 m。

计算结果见表 1, 相应的地温梯度分布见图 1。

据统计, 兰考地温梯度值约为 3.450 °C/100 m, 开封县城附近约为 3.569 °C/100 m, 开封市城区约为 3.366 °C/100 m, 郑州城区约为 3.182 °C/100 m, 全区地温梯度约为 3.414 °C/100 m。从统计结果及图 1 均可看出, 开封县城地温梯度稍高于凹陷区内其他地区。

开封凹陷区地温梯度随深度的变化规律如图 2, 500 m 以上随深度的增加而增大, 500 m 以下随深度的增加而减少。

2.3 地温分布特征

据地温梯度可估算各深度的地温, 其中深度 1 000 m 时温度见表 1, 所绘制的地温分布图如图 3。从图中可看出, 同深度地温开封县城稍高于凹陷区内其他地区。

3 地表热流值

地表热流值不仅可以更好地反映地温的分布规

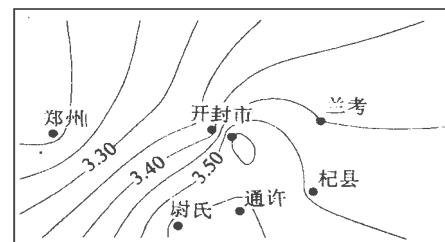


图 1 地温梯度分布图

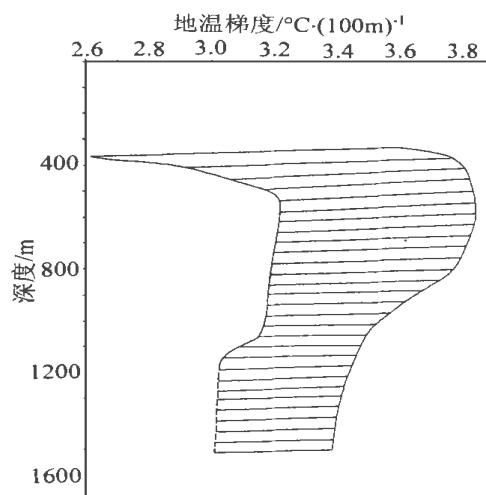


图 2 地温梯度—深度关系曲线

收稿日期:2000-12-25

基金项目:河南省自然科学基金 004070400 项目和国家重点基础研究发展计划(973)G19990436 项目。

作者简介:王心义(1963-),男,河南睢县人,焦作工学院副教授,北京师范大学环科所博士后,从事基岩裂隙水以及地热—热储工程研究。

表 1 开封凹陷区及邻区地温特征

| 区地 域名 | 井位 | 井深 /m | 水温 /℃ | 地温梯 度/℃ · (100 m) ⁻¹ | | 地表热 流值/ mW · m ⁻² |
|----------|-----------|----------|----------|---------------------------------------|--------|------------------------------------|
| | | | | 1 000 m 温度/℃ | | |
| 县通信公司 | 1 580 | 65 | 3.37 | 48.93 | 59.535 | |
| 县自来水公司 | 2# 810.3 | 40 | 3.50 | 50.20 | 61.705 | |
| 开 | 火电厂 5# | 709 | 35.5 | 3.35 | 48.73 | 56.431 |
| 封 | 646 厂 | 670 | 35 | 3.72 | 52.36 | 62.716 |
| 县 | 县花生集团 | 660 | 38 | 3.84 | 53.53 | 64.653 |
| 城 | 县土地局 | 650 | 35 | 3.60 | 51.18 | 60.727 |
| 附 | 县体育场 | 650 | 36 | 3.79 | 53.04 | 63.777 |
| 近 | 火电厂 1# | 619 | 31 | 3.19 | 47.16 | 53.667 |
| 开 | 县儿童乐园 | 580 | 32 | 3.57 | 50.89 | 60.087 |
| 封 | 火电厂 2# | 515 | 31 | 3.81 | 53.24 | 64.232 |
| 四 | 火电厂 4# | 515 | 30 | 3.40 | 49.22 | 57.324 |
| 开 | 火电厂 3# | 510 | 30 | 3.64 | 51.57 | 61.317 |
| 陷 | 火电厂 7# | 445 | 27 | 3.62 | 51.38 | 60.729 |
| 封 | 小北岗 | 1 302 | 51.5 | 3.19 | 47.16 | 56.272 |
| 四 | 水利局 | 1 254 | 53.5 | 3.46 | 49.81 | |
| 开 | 节水办(西) 1# | 1 231 | 49 | 3.13 | 46.57 | 55.848 |
| 封 | 节水办(东) | 1 205 | 53 | 3.38 | 49.02 | 60.456 |
| 市 | 汴京饭店 | 1 200 | 50.5 | 3.39 | 49.12 | 60.545 |
| 城 | 155 医院 | 1 200 | 52 | 3.45 | 49.71 | 61.617 |
| 陷 | 隆氏公司 | 860 | 40.5 | 3.19 | 47.16 | 56.176 |
| 区 | 电业局 1# | 803 | 39 | 3.40 | 49.22 | 59.821 |
| 兰 | 节水办(西) 2# | 595 | 30.5 | 3.25 | 47.75 | 54.746 |
| 考 | 电业局 2# | 550.7 | 30 | 3.25 | 47.75 | 54.779 |
| | 玻璃总厂 | 524 | 30 | 3.42 | 49.42 | 57.560 |
| | 宋城食品厂 | 451.6 | 28 | 3.29 | 48.14 | |
| | 啤酒厂 | 450 | 29 | 3.78 | 52.94 | |
| 区 | 针织厂 | 444.6 | 27 | 3.60 | 51.18 | |
| | 色织厂 | 443.5 | 27 | 3.31 | 48.34 | |
| 兰 | 中原油田 | 1 175 | 52 | 3.54 | 50.59 | 63.296 |
| 考 | 木板厂 | 617 | 35 | 3.59 | 51.08 | 60.407 |
| | 自来水公司 | 600 | 32 | 3.22 | 47.46 | 54.257 |
| 郑 | 郑 4 | 1 091 | 41 | 2.66 | 41.97 | 47.597 |
| 州 | 郑 5 | 920 | 40 | 3.37 | 48.93 | 59.275 |
| | 郑 3 | 912.1 | 40 | 2.78 | 43.14 | 48.991 |
| 通 | 郑 2 | 710.5 | 35 | 3.16 | 46.87 | 53.195 |
| 许 | 郑 1 | 690 | 40.2 | 3.63 | 51.47 | 61.098 |
| 隆 | 郑 6 | 465.6 | 26 | 3.49 | 50.10 | 58.759 |
| 起 | 尉氏橡胶厂 | 866 | 45 | 3.77 | 52.85 | 66.460 |
| | 尉乐棉麻厂 | 952 | 45 | 3.36 | 48.83 | 59.180 |
| | 杞县酒厂 | 601 | 33 | 3.49 | 50.10 | 58.790 |

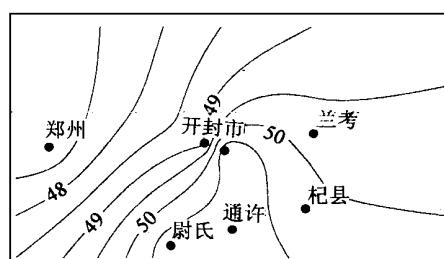


图 3 地温分布图

表 2 热储层砂岩层比和热导率 W/(m·k)

| | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 热储层 | 300~ | 450~ | 600~ | 800~ | 1 000~ | 1 300~ |
| 埋深/m | 450 | 600 | 800 | 1 000 | 1 300 | 1 600 |
| 砂岩层比/% | 40.17 | 38.43 | 38.47 | 46.35 | 37.87 | 45.33 |
| 热导率 | 1.679 | 1.685 | 1.685 | 1.761 | 1.786 | 1.764 |

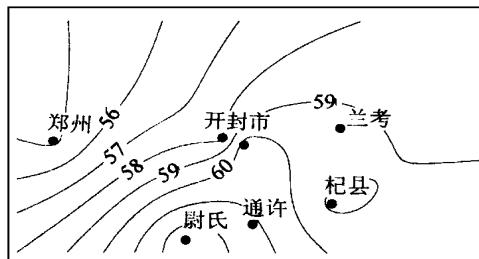


图 4 地表热流值分布图

律,而且还能反映区域地热背景和形成区内地热异常的热源性质,同时也是研究区域地质构造差异的有效方法。

地表热流值可用傅里叶公式来估算。

$$q = \lambda \cdot \theta \quad (2)$$

式中 q —— 地表热流值, mW/m^2 ;

——测温度井段围岩中热储层的热导率。

$W/(m \cdot k)$:

θ —地温梯

岩石热导率为野外取岩样经实验室测量而得。

可由下式计算：

$$\lambda = \lambda \beta + \lambda' (1 - \beta),$$

λ —砂岩粘土层实测的热导率；
 β —热储层的砂岩层比(即砂层总厚度与热储层总厚度之比)

开封凹陷区热储层砂岩层比和热导率如表3。

3.2 地表热流值

为准确反映地表热流值的空间分布特征,本文选择成井质量好且地层岩性记录详细的地热井作为地表热流值估算点。其地表热流值如表1所示,相应的地表热流值分布情况如图4

据统计,兰考县城地表热流值约为 59.320 mW/m^2 ,开封县城附近约为 60.531 mW/m^2 ,开封市城区约为 57.782 mW/m^2 ,郑州市约为 54.819 mW/m^2 ,全区平均值约为 58.487 mW/m^2 。从统计结果和图4也可看出,高地表热流值位于开封县城附近,与前述地温分布特征基本一致。

从整个华北平原来讲：开封凹陷区地表热流值（约为 58.487 mW/m^2 ）低于华北平原北部的 62 mW/m^2 ，同时也低于其南部的通许隆起（ 61.480 mW/m^2 ）。

4 控制地温分布的因素

4.1 地质构造

对比基底构造分布图(图 5)和地温分布图(图 3)可看出,高地温分布区恰好位于基底构造较发育的开封县城和兰考县城附近,低地温分布区正是基底构造不发育的郑州市区。另外,高地温分布区的展布方向为北东向,与本区北东及北北东向构造较发育基本一致,表明地温高低主要受北东及北北东向构造控制。表现在地温梯度分布图(图 1)和地表热流值分布图(图 4)上,其特征也完全相同。

开封县城附近受多种构造体系的影响,老第三系及以下地层内断裂纵横交错,裂隙发育、岩层破碎,深部地热水沿断裂和灰岩的裂隙、洞缝向上运移,受上部透水性差的盖层的阻碍而集中于老第三系的顶部,热水一方面通过盖层的孔隙和细小裂隙极其缓慢地向上渗透,另一方面其热量亦在不断向周围岩层传导,于是就形成了地温偏高的异常区。

兰考位于焦作—商丘大断裂和兰考—东明大断裂的交汇部位,受集中于老第三系顶部的沿断裂和裂隙上升的深部热水影响,地温也偏高。

郑州市大部分区域基底断裂不太发育,受深部地热水的影响不大,正常情况下地温偏低。

开封凹陷区地表热流值低于华北平原北部,正是由于其基底构造不如华北平原北部发育的缘故。

4.2 地下水活动

地下水活动对地热运移和分布的影响表现在两方面。一方面是在凹陷区边缘地带,大气降水由地表向深部的入渗和向凹陷区中心的径流过程中吸收围岩中的热量,加热地下水而促使地温降低,形成了凹陷区边缘的低温带。而在凹陷区中心由于来自边缘带的地下水在漫长的径流和较深的循环过程中被加热已具有与周围介质相同的温度,因此同深度的地温较边缘偏高。同深度下开封市地温高于郑州市,除构造影响外与两地在凹陷区中所处部位不同也有密切关系。

地下水活动影响的另一方面是老第三系及以下地层中深部热水通过断裂和裂隙向上施加的影响。构造越发育,深部热水活动就越剧烈,新第三系地层地温也越高。

4.3 岩层性质

岩性结构是影响地温及地温梯度在纵向上变化的重要因素之一。图 2 表明,500 m 以下地温梯度逐渐降低,是因为随着深度的增加,岩石逐渐被压密,热传导性能变好(热导率增大),在热流值一定的情

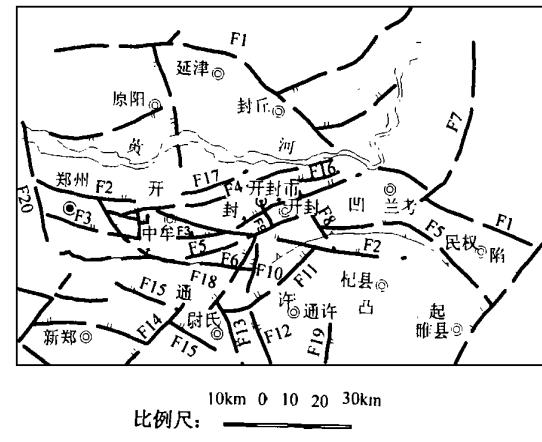


图 5 基底构造分布图

况下,地温梯度逐渐变小。

另外,基底岩性对地温及地温梯度也有重要影响。如位于开封凹陷南部的通许隆起,由于缺失老第三系及中生界,新第三系直接覆盖于古生代二叠系之上,沿断裂、裂隙上升的深部热水经较短的径流即集中于新第三系底部,热源条件较好,因此在基底构造同等发育程度下,通许隆起新第三系的地温梯度及地表热流值高于开封凹陷。

4.4 盖层厚度及性质

开封凹陷区热储层的盖层厚度约 300 m,且粘土层总厚度占盖层总厚度的 58.90%,隔热性能较好。

5 地热系统的成因机制

地热系统的成因模式有传导型和对流型两种。开封凹陷区地热系统是传导和对流双重影响的结果。地球内部的热经传导至中元古界下部;中元古界至新生界老第三系经历了多次构造运动,其间断裂、裂隙发育,来自西部和西南部山区并赋存于灰岩中的地下水经加热增温,沿着断裂和裂隙上升至老第三系顶部,此时对流起主导作用;老第三系顶部的热水受弱透水层的阻碍而又以传导的形式对新第三系及以上地层施加影响。因此,开封凹陷区新第三系地热系统的成因模式是:传导—对流—传导。

一般来说,对流型地热系统的地温梯度大于 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,而开封凹陷区地温梯度均小于 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,因此,在开封凹陷区地热系统的成因机制中传导起主要作用,对流对凹陷区地温分布的不均一性有重要影响。

6 结论

通过以上研究,可得出如下结论:

文章编号:1001-1986(2001)05-0007-04

油气储层有限变形转动场及其裂缝发育区预测

——以塔里木盆地大庆区块下古生界碳酸盐岩为例

孟召平,彭苏萍,曹代勇,张守仁 (中国矿业大学,北京 100083)

摘要:应用有限变形力学理论,建立了油气储层变形位移函数,给出了一种新的恢复储层变形初始位形的方法,实现了储层构造变形应变—转动分离,并以平均整旋角(θ)的梯度作为基本特征量,研究了塔里木盆地大庆区块碳酸盐岩储层有限变形转动场分布;依据局部转动和介质非协调转动产生断裂的思想,对碳酸盐岩储层裂缝发育区进行预测,取得了令人满意的结果。

关键词:油气储层;有限变形;转动场;裂缝预测

中图分类号:P628 文献标识码:A

1 引言

塔里木盆地大庆区块,地理为东经 $80^{\circ}10' \sim 82^{\circ}00'$,北纬 $39^{\circ}00' \sim 40^{\circ}40'$,面积达 $29\,042\text{ km}^2$,主体位于阿瓦提凹陷和巴楚断隆两个二级构造单元,细分为五个三级构造单元。(图1)经历了前震旦纪(A_nZ)结晶基底形成、震旦—奥陶纪(Z—O)克拉通边缘坳拉槽沉积、志留纪(S)稳定克拉通坳陷沉积、泥盆纪—早二叠世(D—P₁)克拉通内裂谷盆地沉积、晚二叠—老第三纪(P₂—E)内陆坳陷盆地沉积

和新第三纪—第四纪(N—Q)的前陆盆地沉积。其中,下古生界的寒武—奥陶系主要是一套滨浅海相碳酸盐台地沉积,厚度巨大,达 $1\,000 \sim 5\,000\text{ m}$,代表拗拉槽发育晚期强烈坳陷阶段的产物,其碳酸盐岩储集层是区块乃至整个塔里木盆地的主要勘探目的层^[1]。由于碳酸盐岩储层物性在空间上分布的非均质性,预测难度大,所以认识和评价碳酸盐岩在空间分布特征和预测碳酸盐储层裂缝发育有利区,将是油气勘探成败的关键。

世界各国都重视在勘探各阶段预测储层裂缝发

收稿日期:2001-02-06

基金项目:国家杰出青年基金项目(编号50025413)和国家自然科学基金资助项目(编号59774003和49872053)

作者简介:孟召平(1963—),男,湖南汨罗人,中国矿业大学博士,副教授,从事油气地质及地下工程地质研究。

a. 开封凹陷区地温梯度在 $2.66 \sim 3.84^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 之间,平均值约为 $3.41^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

b. 地表热流值在 $47.597 \sim 64.653\text{ mW/m}^2$ 之间,平均值约为 58.487 mW/m^2 。

c. 地温分布的差异主要受基底构造控制,高地温分布区恰好位于基底构造较发育的开封县城和兰考县城附近。

d. 郑州市区基底构造不发育,加上位于凹陷区的边缘地带,故地温梯度为全区最低。

e. 热储层埋深小于 500 m 时地温梯度随深度的增加而增大,大于 500 m 时随深度的增加而减

少。

f. 开封凹陷区新第三系地热系统的成因模式是:传导—对流—传导,其中传导起主要作用,对流对区域地温分布的不均一性有重要影响。

参考文献

- [1] 乔国超,王心义等.河南省地热系统及综合开发利用[R].河南省地厅科研项目报告,郑州,2000.
- [2] 王钩等.华北平原中低温地热资源及其利用的环境影响[M].北京:地震出版社,1992.

Geothermal field's characteristics and forming mechanisms in Kaifeng Depression

WANG Xin-yi^{1,2}, NIE Xin-liang³, ZHAO Wei-dong¹

(1. Department of Resource and Environmental Engineer, Jiaozuo Institute of Technology, Jiaozuo 454159, China; 2. Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
3. Water Conservation Office of Jiaozuo, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Based on the information collected from 40 geothermal wells, it is researched that the distribution characteristics of geothermal temperature, gradient and surface thermal current value in Kaifeng Depression. Combined with the study of regularities of geological structure and groundwater's movement it is demonstrated that the controlling factors of geothermal distribution and formating mechanism thermal system.

Key words: geothermal field; geological structure; groundwater movement; Kaifeng Depression