

# 松辽盆地北部中低地温场形成机制探讨

刘晨璞<sup>1</sup>, 钟鑫<sup>2</sup>, 朱换来<sup>3</sup>

(1. 大庆油田有限责任公司第三采油厂, 黑龙江 大庆 163700; 2. 大庆油田有限责任公司采气分公司, 黑龙江 大庆 163712; 3. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

**摘要:** 松辽盆地是典型的裂谷型盆地, 是地幔物质上涌的产物, 在地质历史事件中, 受中、新生代构造运动影响, 火山活动贯穿整个沉积建造过程, 岩浆岩分布广泛, 为盆地形成地温场创造了有利条件。本文通过大量油气勘探资料研究认为, 松辽盆地北部形成中低地温场主要有三个热源, 两个有利条件。三个热源: 主要为地幔物质的热动力引起了莫霍面隆起, 缩短了深部热流向上传导的路径和时间, 供应了盆地内主要的热能; 次要是地壳内分布的岩浆体释放了大量的热能; 再次由局部基底花岗岩中的放射性元素衰变产生。两个有利条件为广泛分布的基底断裂是深部热能快速向上传导的主要通道和两套全盆地分布的泥质岩盖层为热能的保存起到了良好的保护作用。

**关键词:** 裂谷型盆地; 地幔; 莫霍面; 地温场; 花岗岩; 地热能

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2016)04-0316-05

松辽盆地是叠置于古生代基底上的大型中、新生代裂谷型盆地, 是地幔物质上涌的产物, 在地质历史事件中, 受中、新生代构造运动影响, 火山活动贯穿整个沉积建造过程, 岩浆岩分布广泛, 为盆地形成中低地温场创造了有利条件。盆地面积 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 共划分6各一级构造单元, 32个二级构造单元。它们组成了盆地地质构造的基本格架<sup>[1]</sup>。松辽盆地北部主要是指盆地位于黑龙江省部分, 面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

众所周知, 地壳、地幔和地核组成了人类所居住的地球, 地壳的深度一般为33 km, 一般情况下常温层以下的地内温度是随深度的增加而有规律地增加。然而, 不同的地区变化情况有所不同, 一般平均向下加深33 m温度升高 $1^\circ\text{C}$ 。据推测地核的温度可达到 $2\ 000 \sim 5\ 000^\circ\text{C}$ , 因此, 可以说地球是一个庞大的热库, 地热能是最廉价的能源之一。

前人对沉积盆地内的地热能热源研究认为盆地内的热能主要来自地幔热流、岩浆体散发供热, 放射性元素衰变生热, 粘土矿物脱水生热以及断层两盘相对位移摩擦生热等形式<sup>[2]</sup>, 我国著名地热学家汪集旸院士曾对盆地内地热能进行分析研究认为, 地幔热流占到总热流值的62.7%<sup>[3-5]</sup>。笔者应用油气勘探资料对松辽盆地地热能的热源进行研究后, 认为松辽盆地中低地温场的形成热源主要为地幔供热,

其次是岩浆体释放的热, 第三为放射性元素衰变生成的热等三种形式。

## 1 上地幔热力流是盆地形成中低地温场的主要热源

松辽盆地位于中朝板块和西伯利亚板块构造演化带内, 两个板块由于受不同构造期次、不同规模的俯冲、碰撞, 使得海西末期兴蒙海槽闭合, 褶皱造山形成统一的欧亚大陆。盆地深部结构位于亚洲东部上地幔隆起带的中段, 从而造成莫霍面隆起, 地壳变薄。那么来自于上地幔的地幔热通过地壳岩石源源不断地向地面传导, 在相同的时间内地壳薄的地方向上传导的热流值较地壳厚的地方要大。图1是应用重力资料计算出的松辽盆地莫霍面深度分布图, 从图中可以看出, 松辽盆地莫霍面的埋深介于29~33 km之间, 最浅处位于盆地中央的大庆长垣一带, 呈环状分布。在区域背景资料上, 地球内莫霍面的平均埋深为33 km<sup>[6]</sup>, 相比之下, 松辽盆地的地壳厚度是陆内盆地中较薄的盆地之一。图中显示了地幔隆起造成莫霍面变薄的部位为盆地的中央区域, 该处应该就是地温场相对较高的区域了。从应用油田探井资料计算出的松辽盆地地温梯度分布图上也论证了这点(图2)。松辽盆地北部平均地温梯度为

收稿日期: 2016-08-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“我国东部沉积盆地深部高温地热系统形成机制—以大庆徐家围子地区为例”(41302210)

作者简介: 刘晨璞(1990-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事油气勘探、多种资源勘探工作, E-mail: zhongyq@petrochina.com.cn。

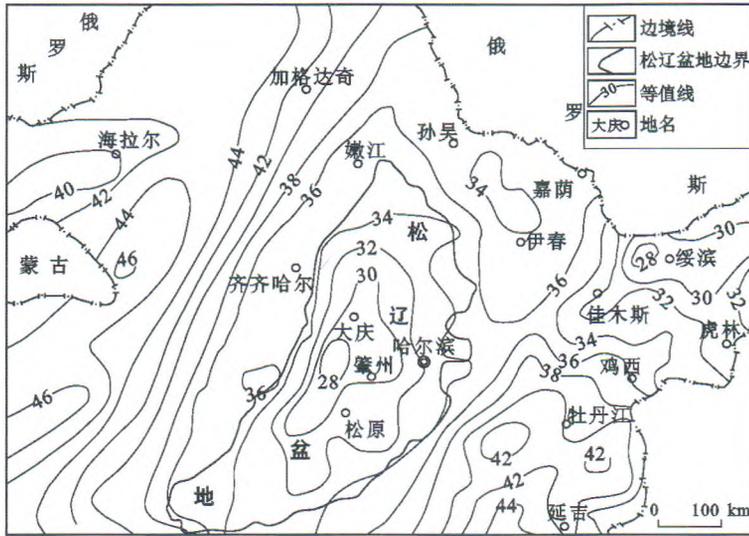


图1 松辽盆地莫霍面深度等值线图

Fig.1 Moho-discontinuity depth contour map of the Songliao basin

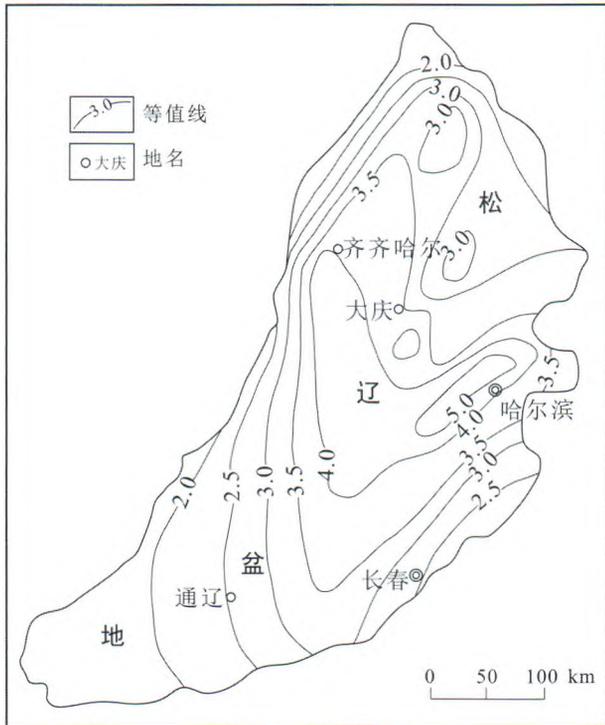


图2 松辽盆地地温梯度等值线图

Fig.2 Geothermal gradient contour map of the Songliao basin

3.8 °C/100 m,最大可达5.0 °C/100 m;高值区主要分布在大庆长垣和长春岭背斜带内,正是莫霍面最薄部位。另外,从吉林大学韩湘君博士对东北地区大地热流值(大地热流值是指在单位时间内由地下深处垂直向上传导通过单位地球表面散发的热量)统计结果也验证了这个结论,东北地区热流值变化范围为30~94 mW/m<sup>2</sup>,平均热流值变化范围为61.5 mW/m<sup>2</sup>,

而松辽盆地的大地热流值变化范围是40~90 mW/m<sup>2</sup>,平均热流值是70 mW/m<sup>2</sup>,高于其它地区<sup>[7]</sup>。

## 2 地壳内的岩浆体是盆地形成中低地温场的次要热源

一般情况在板块的边界或板块内的断块之间,由于发生构造运动,板块的俯冲、碰撞、或张裂,会使地壳内岩石重熔或深部的热物质上涌,形成了熔融岩浆。这些高温热物质就会在地应力的作用下涌向地壳较薄的地方并沿着深断裂、拉张的裂缝上升,并以熔岩的形式喷发或溢出地面,有的侵入到地壳内的岩石中滞留下来,形成低速层并不断散发出其自身的热能<sup>[8]</sup>。

通过对满洲里至绥芬河3条航磁剖面的解译认为,对应松辽盆地深部地壳内存在一个密度为2.45×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>的低密度体(图3),其厚度约为2~5 km,距地壳顶面埋深为18~20 km。解释结果为地幔流沿深断裂上涌滞留在地壳中的岩浆体。

图4为葛肖虹等<sup>[9]</sup>公布的对满洲里-绥芬河地壳内部低速层解释剖面图,从图中可以看出,在距地壳顶部15~25 km深处发育许多逆冲推覆断裂带,而地壳内的低速层就发育于断裂带附近,这种情况说明地壳内存在富含卤素、碱金属、氢、碳(甲烷、CO、CO<sub>2</sub>)等流体的塑性层,由此产生众多的逆冲推覆断裂带<sup>[10,11]</sup>。该低速层的地质属性应该是火山喷发侵入的岩浆房<sup>[12,13]</sup>。同时随地幔上隆,一些超基性岩浆底辟到花岗岩与玄武岩层中,以后又由于地幔流体的入侵,使得超基性岩发生广泛的蛇纹石化,这种地幔流体在地球物理学上表现为低速和高导的特征<sup>[14]</sup>。这些都表明该低速层不但有可能是良好的局部热源,而且可以为地幔热量向上传递创造良好的条件。

## 3 基底花岗岩中放射性元素衰变是盆地形成中低地温场的局部热源

本文对盆地基底岩性分布研究主要是依据油田钻遇基底的探井、地震资料和重磁资料进行综合解释预测出了其分布情况(图5)。其岩性主要为泥质板岩、千枚岩、结晶灰岩等变质岩,其次为片岩、片麻

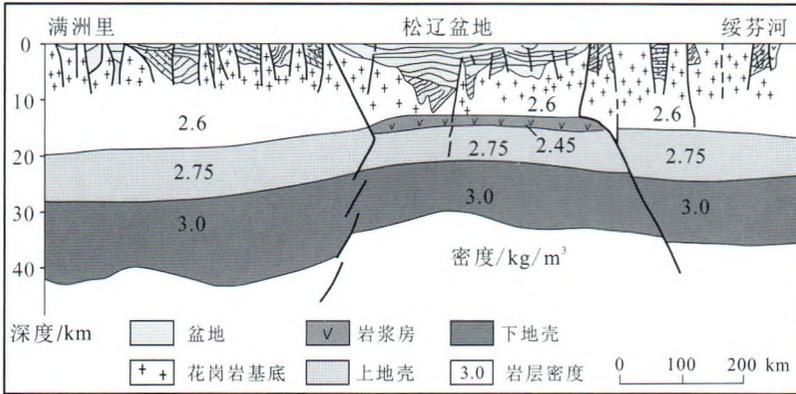


图3 满洲里-绥芬河地壳结构剖面图

Fig.3 The earth's crust structure section of Manzhouli-Suifenhe

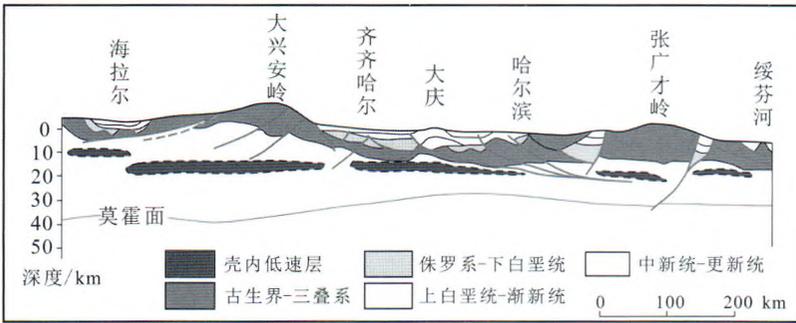


图4 满洲里-绥芬河地壳顶部低速层解释剖面图

Fig.4 Low-velocity layer interpretation section for the top of the earth's crust in the Manzhouli-Suifenhe

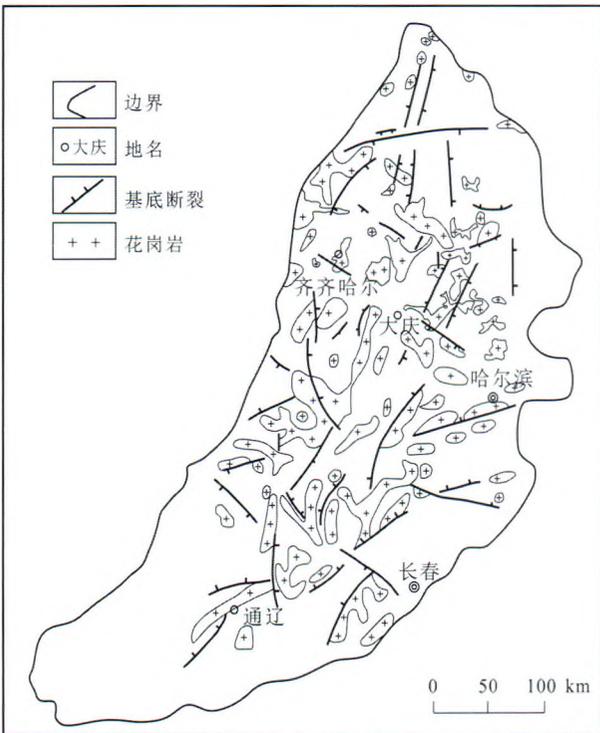


图5 松辽盆地基底花岗岩分布图

Fig.5 Basal granite distribution of the Songliao basin

岩和中酸性侵入岩。从图5中可以看出,基底花岗岩广泛分布,分布区主要靠近基底断裂。从朱焕来教授对松辽盆地基底各岩性产热率分析中可以看出,花岗岩在所有基底岩性中放射性元素含量是最高的,其产热率也是所有岩石中最大的(表1)。因此,盆地中分布的花岗岩衰变放热可以为盆地提供局部热能。

### 4 深大断裂和基底断裂是深部热能向上传导的主要通道

根据断裂分类,一般将断穿岩石圈达到软流圈的断裂叫岩石圈断裂,断穿地壳达到莫霍面的断裂叫地壳断裂,断穿地壳上部花岗岩层达到康氏面的断裂叫基底断裂,断穿沉积岩盖层达到变质基底顶面的断裂叫盖层断裂<sup>[15]</sup>。这四类断裂从横交错构成了连通上地幔热源的断裂网,这些大断裂在形成的过程中常常又伴随有岩浆侵入活动,而这些断裂带正好可以成为深部热能向盆地沉积岩层内传导的良好通道<sup>[16]</sup>。

松辽盆地基底断裂和地壳断裂非常发育,一般以北北东向为主,它们控制着盆地的形成和发展。根据油田勘探资料研究成果得知,松辽盆地共发育3条岩石圈断裂,皆为北北东向展布。它们是盆地西部边界的嫩江断裂、盆地中央的孙吴-双辽断裂,盆地东部的依兰-伊通断裂。

壳断裂主要有3条,2条是北北东走向的依安-镇赉壳断裂和绥棱-肇东壳断裂,北西西向的滨洲壳断裂。

延伸较大的基底断裂主要有北北东向的海伦-肇洲断裂,北西西向的坦途-第二松花江断裂、扎赉特旗-肇源断裂、富裕-绥化断裂、依安-海伦断裂等。

这些断距大、延伸长的岩石圈断裂和壳断裂是地幔物质及热流上升至盆地内部的主要通道。而众多的北北东向和北西西向基底断裂将盆地基底切割成一系列不同形状块体,并派生了一些次级小断层、小裂隙,为下部热流向上涌入沉积岩层内创造了

表1 各类岩石放射性元素含量及生热率统计表

Tab.1 Statistics of radioactive elements content and heat production rate for the different kinds of rocks

|       | 放射性元素平均含量( $\times 10^{-6}$ ) |       |        | K/U                | 平均总生热率  |   | 密度<br>g/cm <sup>3</sup> |
|-------|-------------------------------|-------|--------|--------------------|---|---|-------------------------|
|       | U                             | Th    | K      |                    | $\times 4.1868 \times 10^{-11}$ J/(kg $\times$ a) | $\times 4.1848 \times 10^{-17}$ J/(kg $\times$ a) |                         |
| 沉积岩   | 3.000                         | 5.00  | 20 000 | $6.78 \times 10^4$ | 373.0   | 11.8  | 2.3                     |
| 花岗岩   | 4.750                         | 18.5  | 37 900 | $0.8 \times 10^4$  | 818.0   | 25.8  | 2.7                     |
| 花岗闪长岩 | 2.000                         |       | 18 000 | $0.9 \times 10^4$  | 340.0   | 10.8  | 2.7                     |
| 玄武岩   | 0.600                         | 2.70  | 8 400  | $1.4 \times 10^4$  | 120.5   | 3.80  | 3.0                     |
| 底U榴辉岩 | 0.048                         | 0.18  | 360    | $0.75 \times 10^4$ | 8.10  | 0.26  | 3.2                     |
| 高U榴辉岩 | 0.025                         | 0.45  | 2 600  | $0.1 \times 10^4$  | 34.3  | 1.09  | 3.2                     |
| 橄辉岩   | 0.015                         | 0.05  | 63     | $0.42 \times 10^4$ | 2.26  | 0.07  | 3.2                     |
| 纯橄辉岩  | 0.008                         | 0.023 | 8      | $0.1 \times 10^4$  | 1.07  | 0.034   | 3.3                     |
| 球粒陨石  | 0.012                         | 0.04  | 845    | $7.0 \times 10^4$  | 3.95  | 0.012   | 3.6                     |

注:据大庆石油学院朱焕来(2011)

良好的条件。

## 5 全盆地广泛分布的两套泥质岩是保存热能的良好盖层

根据盆地沉积体系与充填演化研究得出,在白垩纪的青山口组、姚家组和嫩江组沉积时期是盆地湖泊发展的鼎盛时期,此时盆地已发育成为统一的大型拗陷型湖盆。其中青山口组一段和嫩江组的一、二段早期盆地发生了两次大范围、大规模湖侵,进入了大型湖盆的演化阶段,沉积了一套以大型湖泊-三角洲体系为特征的泥岩沉积建造。青一段和嫩二、三段的沉积都是处在深湖和半深湖背景下的基准面下降使三角洲向湖泊推进的结果。松辽盆地两套全盆地稳定分布的两套厚层泥质岩盖层就是在这种地质时期形成的,其平均厚度都超过了100 m,其导热率平均为0.99~1.16 W/mk,而松辽盆地砂岩平均导热率为0.91~2.38 W/mk。这两套致密、低渗透的厚层泥岩从地热学角度上讲,是非常好的区域隔水层,同时由于其导热率低又是阻止地热能向上散失的良好保护层,对地热能向上传播散失具有一定的阻碍作用,为地热能的保存能起到良好的保护作用。

## 6 结论

(1)松辽盆地是典型的裂谷型盆地,是地幔物质上涌的产物。受中、新生代构造运动的影响,由于中朝板块和欧亚板块的碰撞使得上地幔隆起,地幔上拱,地壳受到地应力拉张作用使其厚度变薄。此处成为地壳深部的热流或热液上升的良好渠道,从而增加了地幔热流涌入盆地的热量。

(2)盆地内深大断裂附近广泛分布着来自地幔

的高温岩浆岩,这些沿断裂带喷发上来的炽热岩体赋于沉积物之内释放了大量的热能,是盆地形成中低地温场的次要热源。

(3)盆地基底大面积分布着富含放射性元素的花岗岩,这些元素在衰变过程中,产生和释放了一定量的热能,对盆地地温场的形成起到了加热的作用,是盆地形成中低地温场的局部热源。

(4)松辽盆地发育有岩石圈断裂、壳断裂、基底断裂,这些断裂纵横交错构成连了通上地幔热源的断裂网,是深部热能快速向上传导的主要通道。

(5)松辽盆地青一段和嫩一、二段两次大范围湖侵期形成的两套全盆地分布的泥质岩盖层为盆地内热能的保存起到了良好的保护作用。

### 参考文献:

- [1] 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志[M]. 卷二, 大庆、吉林油田(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,1987: 155-173.
- [2] Bodri L. Geothermal model of the Earth's crust in the Pannonian Basin[J]. Tectonophysics, 1981, 72(1-2): 61-73.
- [3] 汪集旸,汪缉安,王永玲,等. 下辽河盆地大地热流[J]. 地质科学,1986(1): 16-29.
- [4] 汪集旸,汪缉安. 辽河裂谷盆地地幔热流[J]. 地球物理学报,1986(5): 450-459.
- [5] 汪集旸,汪缉安. 辽河裂谷盆地地壳上地幔热结构[J]. 中国科学(B辑 化学生物学农学 医学 地学),1986(8): 856-866.
- [6] 长春地质学院“矿产地质编写组”. 矿产地质基础(上册)[M]. 北京:地质出版社,1979: 11-13.
- [7] 韩湘君,金旭. 中国东北地区地热资源及热结构分析[J]. 地质与勘探,2002,38(1): 74-75.
- [8] 王钧,黄尚瑶,黄歌山,等. 中国地温分布的基本特征[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [9] 葛肖虹,马文璞. 东北亚南区中—新生代大地构造轮廓[J]. 中国地质,2007(2): 212-228.

- [10] 卫平生,张景廉,张虎权,等.松辽盆地深部地壳构造特征与无机油气生成模式[J].地球物理学进展,2008(5):1507-1513.
- [11] 郭占谦,王先彬.松辽盆地非生物成因气的探讨[J].中国科学(B辑 化学 生命科学 地学),1994(3):303-309.
- [12] 付晓飞,云金表,卢双舫,等.松辽盆地无机成因气富集规律研究[J].天然气工业,2005(10):38-41.
- [13] 付晓飞,宋岩.松辽盆地无机成因气及气源模式[J].石油学报,2005(4):23-28.
- [14] 张景廉,于均民.论中地壳及其地质意义[J].新疆石油地质,2004(1):90-94.
- [15] 张文佑,边千韬.地质构造控矿的地球化学机制(摘要)[J].矿物岩石地球化学通讯,1984(1):9-10.
- [16] 汪集旸.中低温对流型地热系统[M].北京:科学出版社,1993.

## Research on the formation mechanism for the medium-low geothermal field in the north of Songliao basin

LIU Chen-pu<sup>1</sup>, ZHONG Xin<sup>2</sup>, ZHU Huan-lai<sup>3</sup>

(1.No.3 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing 163700, China; 2.Gas Production Company of Daqing Oilfield Co. Ltd. Daqing 163712, China; 3.College of the Geosciences, Northeast Petroleum University, Dqing 163318, China)

**Abstract:** Songliao basin is a typical riftogenic basin formed by mantle upwelling. There is frequent volcanic activity in geological history result in the magmatic rocks widely distribution, and created the conditions for the medium-low geothermal field in the basin. In this paper, through a large number of oil and gas exploration data research, it is suggested that there are three heat sources and two advantages in the formation of the medium-low geothermal field. The first heat source is from mantle material which caused the Moho uplift that shorten the path and time for the deep heat flow upward transmission; the secondary heat source is from heat energy released by the magmatic bodies distributing in the earth's crust; the third is the local heat source producing by the radioactive decay in basal granite. The two advantages widely distributing basement faults are the main channel for deep heat transmission rapid upward and the distribution of the two sets argillaceous caprock of whole basin is a good protection for heat preservation.

**Key words:** riftogenic basin; mantle; Moho-discontinuity; geothermal field; granite; geothermal energy