

基于盆地模拟的方法研究东濮凹陷古近系馆陶组热储温度分布特征

姚懿娱, 樊玲红, 孔佳丽

成都理工大学, 能源学院, 四川 成都
Email: 984289149@qq.com

收稿日期: 2021年6月3日; 录用日期: 2021年7月9日; 发布日期: 2021年7月16日

摘 要

东濮凹陷的主要热储包括新近系明化镇组、古近系馆陶组及东营组碎屑岩和奥陶系碳酸盐岩, 已有的研究缺少每套热储的温度分布的研究, 制约着该凹陷地热能勘探开发的评价。因此, 本文以地温梯度、大地热流和岩石热物性参数为基础, 利用一维稳态热传导方程计算得到研究区馆陶组顶部和底部的热储温度, 其顶面温度在 $63^{\circ}\text{C}\sim 106^{\circ}\text{C}$, 西部斜坡带、西部次凹和中央隆起带温度较高, 东部次凹和兰聊断裂带温度较低; 底面温度在 $65^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$, 具有南部热储温度高于北部的特征。馆陶组砂岩含量高、孔隙度及渗透率高, 可以形成几类热储, 发育有中-低温型地热能, 是开发中-低温砂岩型地热能的理想场所。本文的研究成果可以为东濮凹陷馆陶组的地热能勘探开发提供重要的热储信息。

关键词

东濮凹陷, 地热能, 地温梯度, 大地热流, 热储温度

Research on the Temperature Distribution Characteristics of Paleogene Guantao Formation Heat Storage in Dongpu Depression Based on Basin Simulation

Yiyu Yao, Linghong Fan, Jiali Kong

College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan
Email: 984289149@qq.com

文章引用: 姚懿娱, 樊玲红, 孔佳丽. 基于盆地模拟的方法研究东濮凹陷古近系馆陶组热储温度分布特征[J]. 自然科学, 2021, 9(4): 426-432. DOI: 10.12677/ojns.2021.94048

Abstract

The main heat reservoirs in Dongpu depression include Neogene Minghuazheng Formation, Paleogene Guantao Formation and Dongying Formation clastic rocks and Ordovician carbonate rocks. However, there is a lack of research on the temperature distribution of each heat reservoir, which restricts the evaluation of geothermal exploration and development in this depression. In this article, therefore, geothermal gradient and heat flow and thermal physical parameters of rock, on the basis of using one dimensional steady state heat conduction equation to calculate the guantao in the study area at the top and bottom of the heat storage temperature, the top surface temperature at 63°C~106°C, west slope belt, concave temperature are high and the central uplift belt, eastern time concave and LAN chat fault zone temperature are low; the temperature of the bottom surface is between 65°C and 120°C, and the heat storage temperature in the south is higher than that in the north. Guantao Formation has high sandstone content, high porosity and high permeability, which can form several types of heat reservoirs and develop medium-low temperature geothermal energy. It is an ideal place for developing medium-low temperature sandstone geothermal energy. The research results of this paper can provide important heat storage information for geothermal exploration and development of Guantao Formation in Dongpu depression.

Keywords

Dongpu Depression, Geothermal Energy, Geothermal Gradient, Terrestrial Heat Flow, Thermal Storage Temperature

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国幅员辽阔, 独特的地质构造特征与地理环境使得中国成为一个地热能较为丰富的国家[1]。有效地开发和利用地热能对我国的国民经济建设起到了举足轻重的作用。很多专家学者对地热能评价方法的研究已经相当深入。常规的地热能评价方法包括: 地表热流量法、热储体积法、类比法、平面裂隙法和岩浆热平衡法等等。运用热储体积法所需要知道的数据: 位储层的面积、厚度值、平均比热值、温度数值。该方法的优点为其适用于任何地质条件下的资源量的计算, 所需参数可以实测或估算获得, 但其计算结果可能偏低; 地表热流量法使用较早, 计算所需数据位天然放热量、已开发地热田的热产量、地表热流值等, 计算结果稳定, 数据合理, 但其只适用于已有地热开发的地区; 平面裂隙法需要建立平面裂隙模型, 且模型简单, 但其应用范围受到限制, 只能用于层状玄武岩地区, 如冰岛; 类比法运用于多种资源评价中, 原理是将评价区和已开发的地质情况相似的资源区的储量数据进行类比, 得到评价区的资源量数据, 其计算简单, 但结果粗略[2]。本文利用盆地模拟的方法, 结合东濮凹陷的关键地质时期的剥蚀量、岩性参数、地层分层、烃源岩地球化学参数、地表温度、现今地温场、热史和岩石热物性参数, 可以得到馆陶组地层平面的温度展布, 并且不只局限于单井, 同时可以改善油田的经济效益以及环境质量, 更为高效、精确。计算热储的温度分布在地热资源评价中具有重要的意义, 并且是地热资源分类和

潜力评价的重要因素之一[3] [4] [5]。

东濮凹陷的主要热储包括新近系明化镇组、古近系馆陶组及东营组 and 奥陶系[2] [5] [6]，但目前计算热储的方法以单井为主，热储的平面温度分布计算缺少有效的手段。本文在对现今地温场研究的基础上，采用盆地模拟的方法计算了东濮凹陷馆陶组热储的顶底温度，分析了其顶底温度分布特征，为东濮凹陷地热能的评价和开发提供了依据。

2. 地质概况

东濮凹陷位于我国东部渤海湾盆地南缘，东以鲁西隆起为界，西与内黄隆起相连，南部紧邻兰考凸起，北与临清拗陷相连。呈北北东走向，面积为 5300 km²。东濮凹陷的构造格局为兰聊断裂带、东部次凹、中央隆起带、西部次凹、西部斜坡带(图 1)，具有“两凹一隆一陡一斜坡”特点[7]。

东濮凹陷新生代发育地层自上而下分为平原组、明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组[8]。其中明化镇组、馆陶组、东营组、沙河街组是有利热储，明化镇组厚度约 800~1800 m，为棕色泥岩、灰白色粉砂岩，还含有砾岩夹层；馆陶组厚度约 200~500 m，为灰色砾岩夹有黄褐色泥岩，这两套热储的单层厚度较大，孔隙度一般大于 25%，渗透率一般大于 0.30 μm²，最高孔隙度为 36%，最大渗透率为 1.713 μm²；古近系东营组热储在东濮凹陷整个范围内也都有分布，厚度约 0~1300 m，为深灰色泥岩与砂砾岩互层，孔隙度随着埋深增加而减小，在 7%~21%之间，渗透率一般在 0.20~0.76 μm²。此外，东濮凹陷及其周围地区的基底主要为奥陶系的灰岩和白云岩，发育溶洞、晶间溶孔和裂缝等，白云岩储层的平均孔隙度和渗透率分别为 2.5%和 7.43 mD，灰岩储层的平均孔隙度和渗透率分别为 2.2%和 2.72 mD [9]，总的来说，奥陶系地层热储、盖层及水源条件均良好，奥陶系深层碳酸盐岩也具有潜在的地热资源[5]。

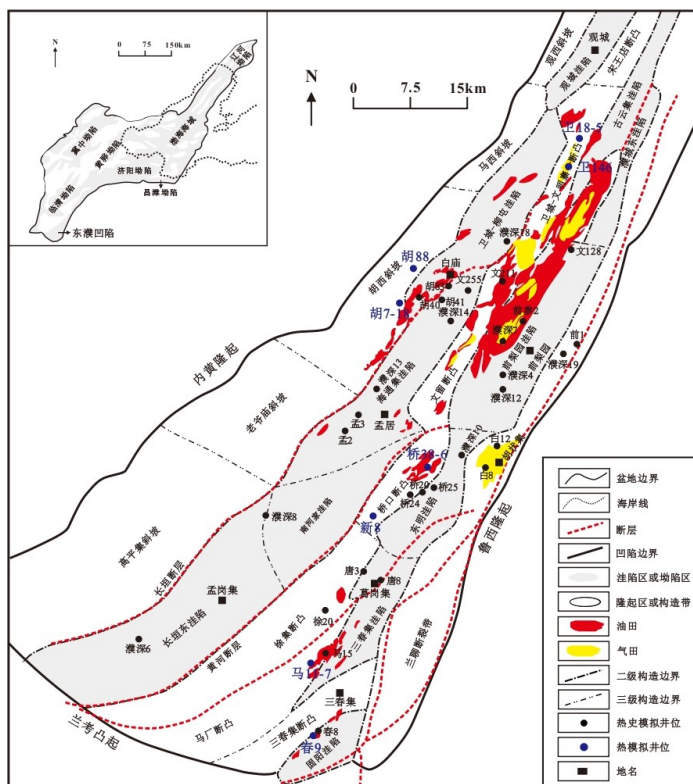


Figure 1. Tectonic division map of Bohai Bay Basin and Dongpu Depression
图 1. 渤海湾盆地及东濮凹陷构造分区图

3. 研究方法与参数

3.1. 研究方法

东濮凹陷的地热资源属于典型的热传导类型[4] [5] [10] [11], 对于每套地层, 本文利用一维稳态热传导方程(公式 1) [12]计算得到每套地层的温度:

$$T_i^b = T_i^t + (q_i^t \times Z_i) / K_i - (A_i \times Z_i^2) / (2 \times K_i) \quad (1)$$

其中, T_i^t 和 T_i^b 分别是第 i 套地层的顶底温度, $^{\circ}\text{C}$; t 是地层顶部; b 是地层底部; i 是地层数, 无量纲; q_i^t 是第 i 套地层顶部热流值, mW/m^2 ; K_i 是第 i 套地层的岩石热导率, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; A_i 是第 i 套地层的岩石生热率, $\mu\text{W}/\text{m}^3$; Z_i 是第 i 套地层的厚度, km 。

大地热流是表征地球向外通过传导所释放热量的一个基本的物理参数, 通常热流值不是直接测量得到的, 而是通过地温梯度和岩石热导率两个参数的测定间接计算得到(公式 2) [12]:

$$q = -K \times G \quad (2)$$

q 是大地热流, mW/m^2 ; K 是岩石热导率, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; G 是地温梯度, $^{\circ}\text{C}/\text{km}$; 负号代表大地热流方向与地温梯度方向相反。

对于具有传导型地温场特征的沉积盆地, 根据同一地层不同埋藏深度的地层温度利用公式 3 [12]可以计算得到该地层的地温梯度:

$$G = (T_2 - T_1) / (Z_2 - Z_1) \quad (3)$$

其中, G 是地层的地温梯度, $^{\circ}\text{C}/\text{km}$; T_1 和 T_2 是同一地层不同埋藏深度的对应的地层温度。

3.2. 基本参数

模拟中需要的基本参数包括关键地质时期的剥蚀量、岩性参数、地层分层、烃源岩地球化学参数、地表温度、现今地温场、热史和岩石热物性参数。地层分层、岩性参数、烃源岩地球化学参由中原油田提供; 由于东营运动, 东濮拗陷在东营组沉积中后期经历了抬升剥蚀, 其最大剥蚀量可达 1000 m, 而不同构造单元的剥蚀量差异较大[4]; 岩石热物性参数主要包括岩石热导率和岩石生热率[4]。

1) 温度

本文主要从文留和卫城地区收集得到 532 口井的 892 个试油温度数据(图 2), 温度和埋藏深度之间具有较强的线性关系, 表明东濮凹陷具有典型的热传导地温场特征。

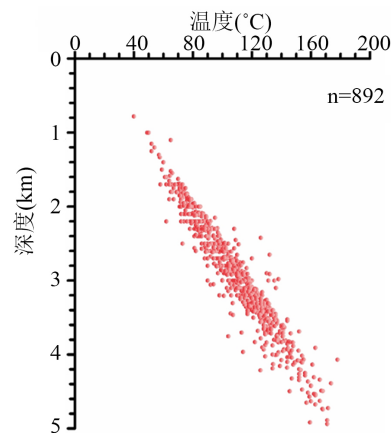


Figure 2. Relationship between well test temperature and burial depth

图 2. 试井温度与埋藏深度关系图

2) 岩石热物性参数

岩石的热导率表征岩石传导热的能力，是计算大地热流的关键参数之一。岩石生热率是单位体积岩石中所含放射性元素在单位时间中由衰变所释放的能量。

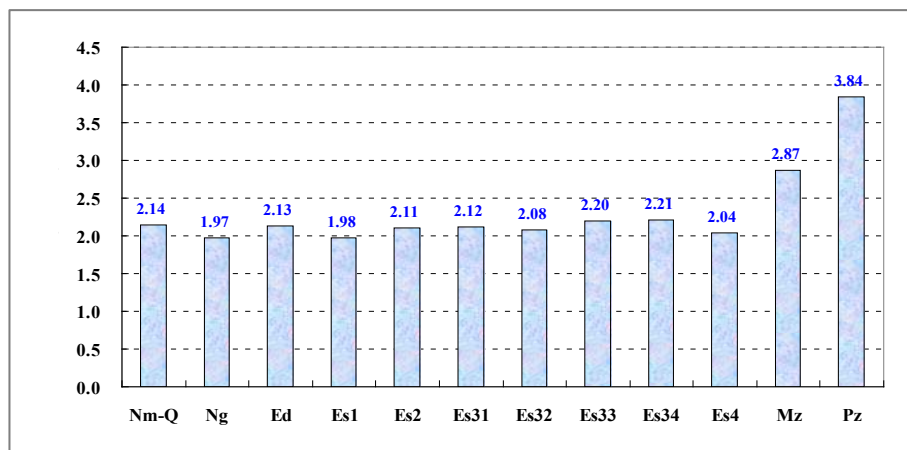


Figure 3. Thermal conductivity column of rock (Gong, 2003)

图3. 岩石热导率柱(龚育龄, 2003)

由于缺少东濮凹陷的岩石生热率数据，因此在研究中参考邻近的济阳拗陷的热导率数据(图3)和生热率数据[13]。新生代：1.43 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ；中生代：1.51 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ；古生代：1.22 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ 。

3) 现今地温场

东濮凹陷的地温梯度在 20.0 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ~56.5 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，平均为 34.8 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，其中主要分布在 28 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ~42 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，占 66.2%。东濮凹陷的大地热流在 37.8~106.8 mW/m^2 ，平均为 66.8 mW/m^2 ，其中主要分布在 45~77 mW/m^2 ，占 75.0%，具有构造活动及构造稳定区之间的中温型地温场特征[11]。

4. 东濮凹陷馆陶组热储温度

本文根据测得的 892 个试油温度数据，利用一维稳态热传导方程(公式 1)对东濮凹陷中央隆起带典型井的地层温度以及馆陶组顶部和底部温度进行模拟，地表温度为 15 $^{\circ}\text{C}$ 。结果显示，馆陶组顶部温度在 63 $^{\circ}\text{C}$ ~106 $^{\circ}\text{C}$ (图 4)，西部斜坡带、西部次凹和中央隆起带温度较高，东部次凹和兰聊断裂带温度较低，温度主要在 63 $^{\circ}\text{C}$ ~80 $^{\circ}\text{C}$ ；底部温度在 65 $^{\circ}\text{C}$ ~120 $^{\circ}\text{C}$ (图 5)，具有南部高温北部地温的特征，南北温度差异明显。隆起和斜坡区域的地温梯度和大地热流值高，洼陷区的地温梯度和大地热流值低，主要发育低温和中温地热能。东濮凹陷新生代构造主要表现为裂陷盆地性质，动力学特征主要为地幔上隆引起的地壳引张作用[14]，其可能导致的软流圈上涌、地壳减薄、莫霍面抬升、深大断裂发育、地幔物质上拱等，为东濮凹陷地热田形成提供了良好的地热条件。

5. 结论

东濮凹陷的地热能具有传导型地热能特征，主要受薄地壳背景下深部地幔大量热液上涌所控制，因此，东濮凹陷的地热勘探应以寻找传导型地热能为目标。地热能的热储温度主要与地温梯度、埋藏深度以及岩石的热物性参数有关。东濮凹陷馆陶组顶部温度分布范围在 63 $^{\circ}\text{C}$ ~106 $^{\circ}\text{C}$ ，底部温度分布范围在 65 $^{\circ}\text{C}$ ~120 $^{\circ}\text{C}$ ，砂岩含量高，孔隙度高，可以形成良好的热储，是中低温砂岩地热能勘探的理想区域。另外，东部凹陷南部地区的温度整体要高于北部，在地热能勘探过程中可以优先考虑东濮凹陷南部地区的

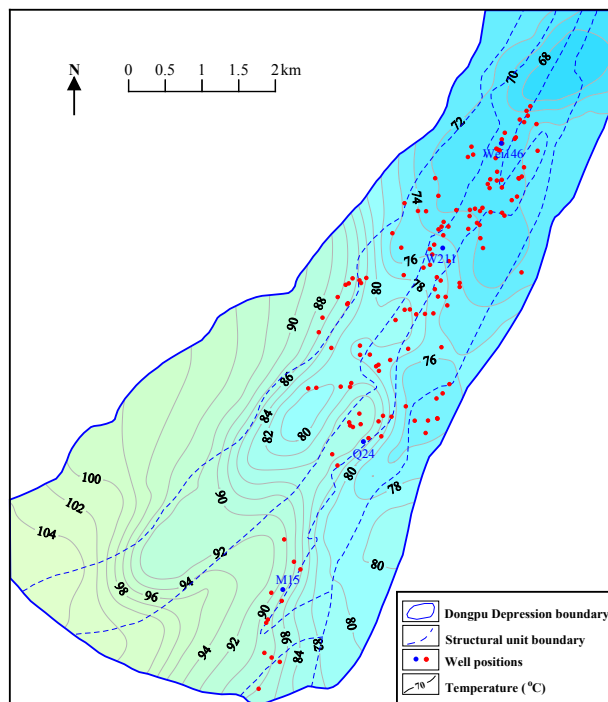


Figure 4. Planar distribution of temperature at the top of Guantao Formation
图 4. 馆陶组顶部温度平面分布

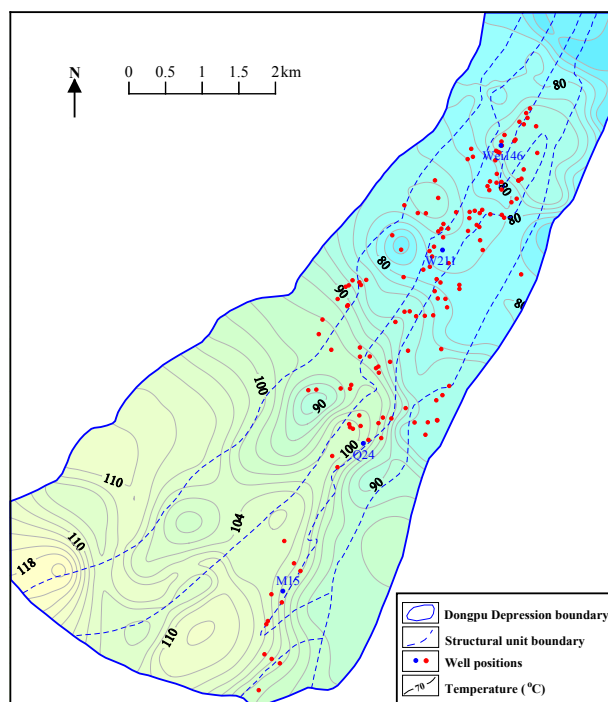


Figure 5. Planar distribution of temperature at the bottom of Guantao Formation
图 5. 馆陶组底部温度平面分布

勘探。总之，东濮凹陷馆陶组具有形成低温、中温地热能的地质条件，油气勘探也已证实其具有优质的热储。因此，东濮凹陷是进行地热勘探开发的有利区，具有良好的地热勘探前景。

参考文献

- [1] 王社教, 闫家泓, 黎民. 石油行业开展地热能节能的发展前景[C]//中国能源研究会. 全国地热产业可持续发展学术研讨会论文集, 北京: 化学工业出版社, 2005: 232-238.
- [2] 秦佩欣. 东濮凹陷地热资源评价方法与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [3] 汪集旸, 等. 地热学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [4] Zuo, Y.H., Ye, B., Wu, W.T., Zhang, Y.X., Tang, S.L. and Zhou, Y.S. (2017) Present Temperature Field and Cenozoic Thermal History in the Dongpu Depression, Bohai Bay Basin, North China. *Marine and Petroleum Geology*, **88**, 696-711. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.08.037>
- [5] 刘金侠, 毛翔, 季汉成, 李海泉. 东濮凹陷奥陶系岩溶型热储分布特征及成因研究[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 180-189.
- [6] 周晓奇. 东濮凹陷废弃井改造成地热井先导试验[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 27-34.
- [7] 左银辉, 唐世林, 张旺, 张云献, 辛艳朋, 周勇水. 东濮凹陷新生代结构-热历史研究[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 149-156.
- [8] 唐世林. 东濮凹陷现今地温场及构造-热演化历史研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [9] 赵甜. 河南省华北地台晚古生代碳酸盐岩沉积相及古地理特征分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2010.
- [10] Zuo, Y.H., Qiu, N.S., Zhang, Y., Li, C.C., Li, J.P., Guo, Y.H., *et al.* (2011) Geothermal Regime and Hydrocarbon Kitchen Evolution of the Offshore Bohai Bay Basin, North China. *AAPG Bulletin*, **95**, 749-769. <https://doi.org/10.1306/09271010079>
- [11] Zuo, Y.H., Qiu, N.S., Hao, Q.Q., Zhang, Y., Pang, X., Li, Z., *et al.* (2014) Present Geothermal Fields of the Dongpu Sag in the Bohai Bay Basin. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, **88**, 915-930. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12246>
- [12] 邱楠生, 胡圣标, 何丽娟. 沉积盆地地热学[M]. 东营: 中国石油大学出版社: 2019.
- [13] 龚育龄, 王良书, 刘绍文, 李成, 韩用兵, 李华, 等. 济阳拗陷大地热流分布特征[J]. 中国科学, 2003, 33(4): 385-391.
- [14] 王凤英. 东濮凹陷新生代构造动力学模型与应力场演化特征[J]. 内蒙古石油化工, 2014(4): 134-135.