

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.04.07

包乃利. 2024. 商丘柘城一带地温场分布特征及控制因素分析[J]. 华北地质, 47(4): 64-70.

Bao Naili. 2024. Distribution characteristics and controlling factors of geothermal field in Zhecheng, Shangqiu[J]. North China Geology, 47(4): 64-70.

商丘柘城一带地温场分布特征及控制因素分析

包乃利

(中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300000)

摘要:【研究目的】商丘柘城一带地处沉积盆地,新生界沉积厚度大,热储盖层良好,储热砂层厚度相对较大,具有良好的热储前景。【研究方法】基于柘城一带33个钻孔测试温度数据,80多个钻孔地质资料及区域二维地震勘探成果,对该区域的地质构造及地温场进行分析。【研究结果】梳理研究区新生界厚度及地质构造分布情况,并分析了该区域地质构造发展历史。经过对钻孔测温数据分析,确定了该区域地温梯度及地温分布规律。在此基础上,对研究区主要控制温度分布因素进行了分析。总结了研究区新生界及基岩地温梯度分布规律,圈定了热储层位及有利的地热靶区。【结论】研究表明该区地温分布差异主要受基底构造控制,研究区域地热成因机制与地质构造历史密切相关,新生界热储成因以传导型为主,基岩及断裂带附近则以传导—对流—传导起主要作用。

关键词:地温场;地温梯度;地质构造;柘城

创新点:统计总结了该区域地温梯度及地温场分布规律,分析了该区域地热成因机制。

中图分类号:P314

文献标识码:A

文章编号:2097-0188(2024)04-0064-07

Distribution characteristics and controlling factors of geothermal field in Zhecheng, Shangqiu

BAO Naili

(China Water Resources BeiFang investigation, Design and Research Co., Ltd. Tianjin 300000, China)

Abstract: This paper is the results of geothermal energy.

[Objective] Zhecheng, Shangqiu, is located in a sedimentary basin, the Cenozoic deposits are thick, the thermal reservoir cap rock is good, the thickness of thermal sand layer is relatively large, so it has a good prospect of thermal storage. **[Methods]** Based on temperature data from 33 boreholes around Zhecheng, and more than 80 borehole geological data and regional 2-d seismic exploration results, the geological structure and geothermal field in this area are analyzed. **[Results]** This study clarified the cenozoic thickness and geological structure distribution in the study area, and analyzed the development history of geological structure. Through the analysis of borehole temperature measurement data, the geotemperature gradient and distribution law of geotemperature in this region are determined. The main factors controlling temperature distribution in the study area are analyzed. The distribution law of geotemperature gradient in Cenozoic and bedrock, thermal reservoir location and favorable geothermal target area are obtained. **[Conclusions]** the study shows that the difference of the earth temperature distribution is mainly controlled by the

收稿日期: 2024-04-25

基金项目: 2010年度河南省地质勘查基金(周转金)续作项目(豫国土资发[2010]100号)

作者简介: 包乃利(1985—), 硕士, 工程师, 从事工程勘察与工程物探, E-mail: baonaili@163.com。

<http://hbdz.org.cn> 华北地质, 2024, 47(4)

basement structure. The origin of the Cenozoic heat storage is mainly conduction type, and the conduction-convection-conduction plays a major role in the vicinity of bedrock and fault zone.

Key words: geothermal field; geothermal gradient; geological structure; Zhecheng

Highlights: Statistically summarized the geothermal gradient and distribution pattern in the region, and analyzed the geothermal genesis mechanism in the area.

About the first author: Bao Naili, male, born in 1985, master, engineer, Engaged in engineering survey and engineering geophysical exploration, E-mail: baonaili@163.com.

Fund support: 2010 Henan Geological Exploration Fund (Working capital) Continuation Project (No. Yu Guo Tu Zi Fa [2010] No. 100)

沉积盆地型地热资源因其分布广泛、储集空间广,储层厚度大、水热储量大、可利用程度高等特点受到了学者们的广泛关注,不少学者对不同研究区的沉积盆地型地热资源分布特征及地热成因机制等进行了分析研究(汪集旻等,1993;徐世光等,2009;任战利等,2014;孙红丽,2015;史猛等,2019;赵东等,2019;刘海等,2020;王贵玲等,2020;刘元晴等,2020;王国建等,2021)。河南省华北平原地区沉积盆地型地热资源丰富,具有较好的开发潜力和应用前景(王迪等,2020;王继华等,2009;龚晓洁等,2019;黄光寿等,2019;黄光寿等,2020;倪昆等,2021)。商丘柘城一带沉积盆地型地热,新生界沉积厚度大,热储盖层良好,储热砂层厚度相对较大,其邻区通许凸起尉氏段(王少辉等,2020)、睢县—商丘段(闫晋龙等,2020)、漯河(赵明坤等,2022)、开封(王心义等,2001)、鄱陵(陈怀玉等,2020)、周口凹陷区(任鸿飞等,2019;杨义栋等,2020;白博文等,2022)地温场的情况都有不同程度的研究,而商丘柘城一带的区域地温场特征研究程度相对较低。为此,本文利用二维地震勘探、钻探等成果,对该区域的地质构造、地温场分布特征及控制因素等进行分析探讨,拟为该地地热资源开发利用提供参考。

1 研究区地质概况及构造演化

研究区域在大地构造位置上位于华北板块南缘,东与永城断褶带相邻,北部为开封拗陷,南部为周口拗陷,形成近东西走向的“两拗夹一隆”的构造格局(图1)。

本区地层属华北地层区华北平原分区开封小区,地表全为新生界沉积物所覆盖,经钻孔及地震资

料推断解释,该区域新生界沉积物厚度从东北向西南方向逐渐变厚,埋深在600~1 150 m之间。区域自下而上发育的地层有寒武系、奥陶系中下统、石炭系上统、二叠系、新近系和第四系。本区构造形态总体走向为近东西向,地层倾向南的单斜构造,在研究区东部地层转折呈南北走向,西南部受断层影响部分地层走向为北东向。地层倾角一般在2~15°之间。受后期构造的改造,发育了4个次级褶皱,西南部受挤压影响发育柘城向斜和柘城背斜;东部发育宋集向斜,东北部发育沙集向斜。全区共发育断层36条,断层走向主要为NNE向和NNW向两组,均为高角度的正断层,具体见图2。

该区域构造格局的演化进程主要分为三个阶段:古陆壳板块演化阶段、板块内部挤压变形阶段和伸展裂陷阶段。在古陆壳板块演化阶段阶段,地壳运动以垂直运动为主,在大区域上发育了开封—徐州的沉积条带中心,受地缘构造变动影响,主要产生一组与板块构造边界大致平行的东西向大型隆起和拗陷,受华北古板块和华南古板块挤压碰撞,主要在研究区的西部形成通许隆起。在板块内部挤压变形阶段,主要包括印支运动末期南北挤压和燕山运动早中期北东向挤压两期,在此两次挤压变形中,东西构造占主导地位,北东—北北东向构造规模较东西向弱。印支运动末期南北挤压在研究区内由南向北形成了柘城背斜、柘城向斜及沙集向斜三个主要的东西向隆起与拗陷构造,在第二期燕山运动早中期北东向挤压过程中,区内形成了北东向的宋集向斜构造。在J—K₁时期产生了北北东向延伸的左行走滑断层,并切割了前期形成的柘城背斜、柘城向斜及沙集向斜。第三阶段伸展裂陷阶段,燕山运动晚期以来,

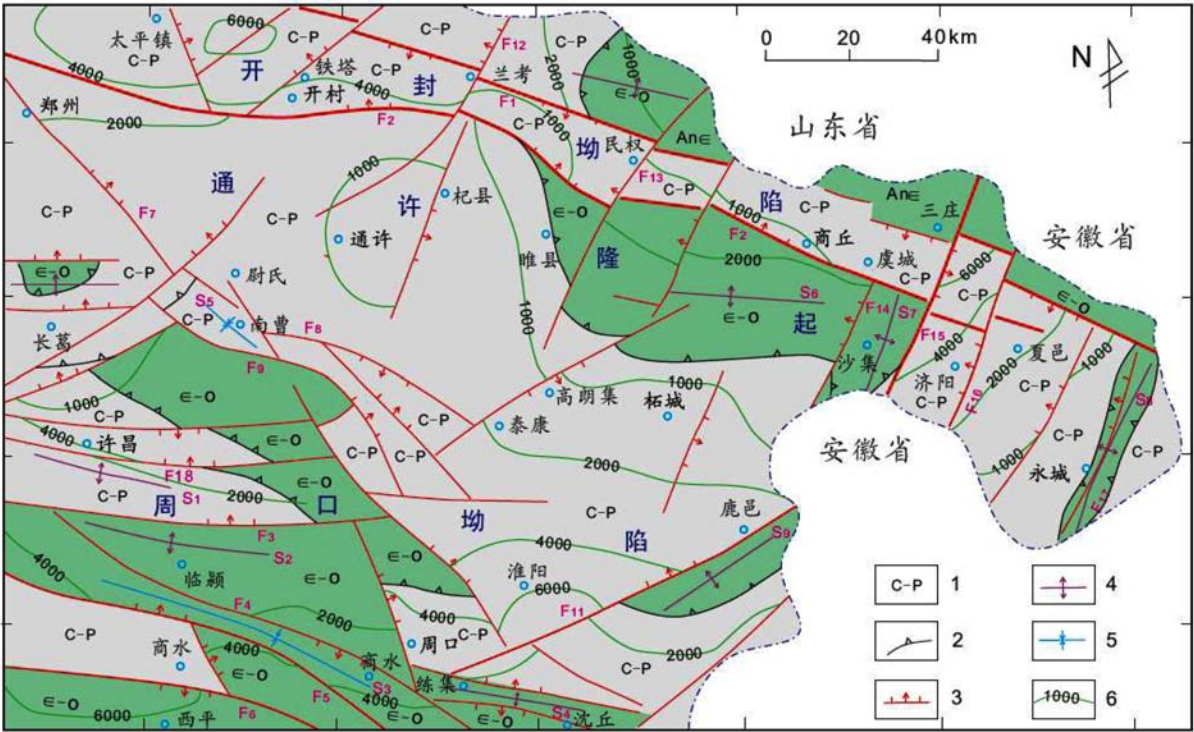


图1 区域基岩地质构造和主要断裂分布图

Fig.1 Regional distribution map of bedrock geological structure and major faults

1—基岩地层;2—煤系尖灭线;3—正断层;4—背斜;5—向斜;6—基岩埋深等值线(m)

F1—兰考断层;F2—焦作—商丘断层;F3—固厢断层;F4—商水断层;F5—漯河—沈丘断层;F6—漯河—项城断层;
F7—郑州断层;F8—尉氏断层;F9—包屯断层;F10—扶沟断层;F11—周口—鹿邑断层;F12—聊兰断层;F13—睢县
断层;F14—沙集断层;F15—颜集断层;F16—于贤—桑固断层;F17——演集断层;F18—鄢陵—太康断层

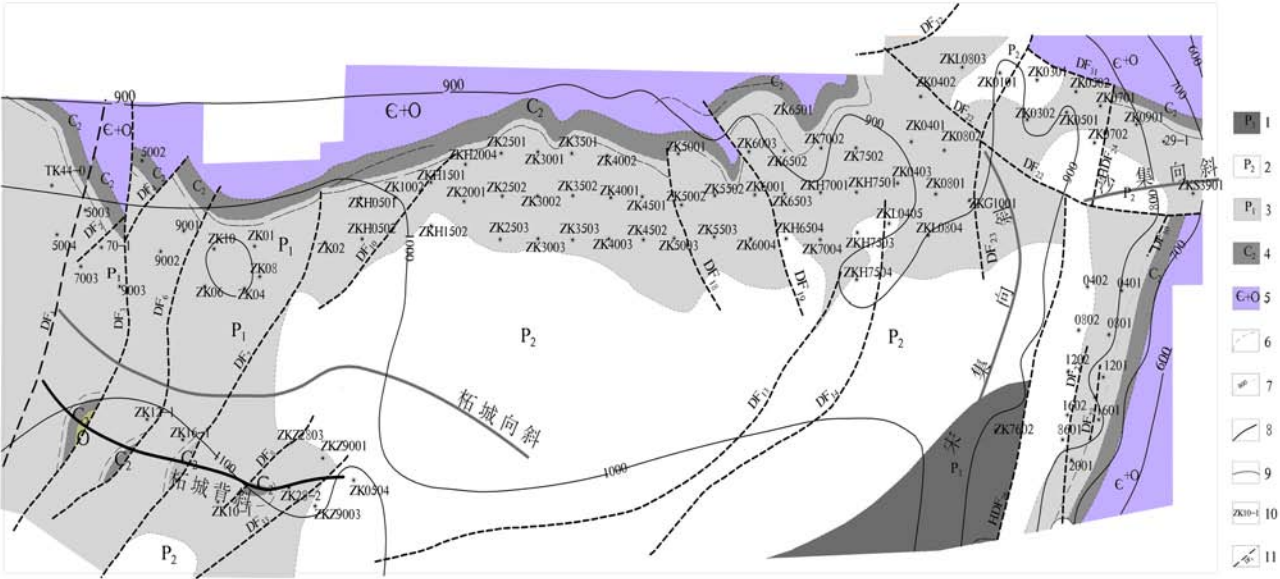


图2 地质构造纲要简图

Fig.2 Outline of geological structure

1—二叠系上统;2—二叠系上统中统;3—二叠系上统下统;4—石炭系上统;5—寒武—奥陶系;
6—地层界限;7—新生界等厚线;8—背斜轴;9—向斜轴;10—钻孔编号;11—断层及其倾向

区域性伸展裂陷作用成为主要的地壳运动方式,并在研究区内伴随有岩浆活动。在此阶段由于太平洋板块向东亚大陆板块俯冲,运动方向转为北西西向,在研究区北部及东北部一带形成了北北西向断层,并在柘城背斜一带伴随有岩浆岩侵入。研究区在晚白垩世燕山运动最后一幕短暂隆起遭受剥蚀,造成新生界与下伏地层成平行不整合或小角度不整合接触。

区内钻孔有12个钻孔见到岩浆岩,区域上岩浆岩的侵入时期为华力西期和燕山早、晚期。根据岩浆岩侵入情况统计和分析,岩浆岩在研究区东部的谷熟南、沙集和杜集西子区内发育,中部及西部未见岩浆岩。主要侵入层位为二叠系下统山西组及下石盒子组两个主要煤组中。岩浆岩多沿煤层中或煤层顶、底板及近煤层上下的软弱层顺层侵入,可能是受

断层影响,侵入于各个层位的岩浆岩连续性差,侵入于煤层中的岩浆岩不连续分布。岩浆岩多呈岩席状或似层状,但厚度变化较大,岩浆岩岩性也不同,所以不同类型的岩浆岩的形态及分布范围难以圈定。

2 地温梯度的确定及分布特征

2.1 地温梯度的计算

沉积盆地现今温度场分布特征研究是地层温度、岩石热导率、热扩散率机制等热物性参数的基础。分析现今地温梯度,便于研究大地热流平面分布特征及深部地层温度的特征。现今地温场主要依赖于33个钻孔测温数据,计算得出新生界覆盖层及基岩地温梯度见表1。

2.2 地温梯度的分布规律

沉积盆地热历史是沉积盆地在地质历史某一时期曾经出现过的热状况,包括盆地的热流演化史,地温梯度演化史和地层地温演化史等(汪集暘等,2017)。为了更细致研究柘城一带沉积盆地热特征,利用地层不整合关系,分时间段研究一套连续沉积地层的地质地温或地温梯度,在此基础上,再求取地层的平均地温梯度,再叠加区域构造活动影响来综合分析地温梯度与构造相关性。

由表1统计可得出,研究区域新生界地层地温梯度变化范围为 $1.4 \sim 4.1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,新生界地层地温梯度平均值为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,基岩地温梯度变化范围为 $1.8 \sim 4.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,地温梯度平均值为 $3.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,由图3可以看出平均地温梯度变化范围为 $1.6 \sim 4.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,全区地温梯度平均值为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,同时存在区域差异,总体上地温梯度值由西北向东南逐渐增大。而且由各钻孔地温梯度结合区域地质资料来看,区域地层地温梯度与区域构造具有相关性,具体与基底起伏、区域断裂发育或岩浆岩侵入有关,在背斜区域及断层附近地温梯度高,向斜区域地温梯度偏低。

3 控制温度分布因素

3.1 地质构造

柘城井田一带区域构造主要根据该区域二维地震及钻探成果所得。地震资料解释是将地震资料转化为地质语言的过程。解释成果的正

表1 钻孔温度及地温梯度计算成果表

Table 1 The calculation results of drilling temperature and geothermal gradient

孔号	新生界 厚度 /m	新生界底 部温度 /℃	钻孔 深度 /m	孔底 温度 /℃	新生界地 温梯度 /℃/100 m	基岩地 温梯度 ℃/100 m	平均地 温梯 ℃/100 m
ZK10	1 114	50.8	1 300	56.7	3.1	3.2	3.1
ZK04	1 110	52.8	1 328	57.9	3.3	2.5	3.2
ZK0101	908	42.8	1 536	59.0	3.0	2.6	2.8
ZK0301	890	41.8	1 356	54.5	2.9	2.7	2.8
ZK0302	900	43.1	1 427	56.9	3.0	2.6	2.9
ZK0901	810	35.7	936	38.9	2.4	2.5	2.4
ZK1002	1 002	46.0	1 137	50.6	3.0	3.5	3.1
ZK3001	958	47.2	1 101	51.4	3.3	2.9	3.2
ZK3002	947	42.9	1 022	44.4	2.9	2.1	2.8
ZK3003	948	43.3	1 437	57.0	2.9	2.8	2.9
ZK4002	938	43.3	1 005	48.0	2.9		3.2
ZK4003	946	43.1	1 346	54.8	2.9	2.9	2.9
ZK5001	907	43.1	1 057	49.3	3.0	4.1	3.2
ZK5003	965	46.8	1 221	56.5	3.2	3.8	3.3
ZK6003	936	40.9	1 165	48.9	2.7	3.5	2.8
ZK6004	914	41.7	1 235	52.5	2.8	3.4	3.0
ZK7002	878	40.2	1 100	48.3	2.7	3.6	3.0
ZK7004	937	41.8	1 284	52.5	2.8	3.1	2.9
ZK7502	962	43.5	1 030	48.5	2.9		3.1
ZKG1001	888	39.5	1 225	50.4	2.7	3.2	2.8
ZKH1501	964	42.9	1 202	50.8	2.8	3.3	2.9
ZKH7001	921	42.4	1 202	49.9	2.9	2.7	2.8
ZKH7503	952	42.4	1 400	53.2	2.8	2.3	2.7
ZKH7504	863	41.2	1 426	55.2	2.9	2.5	2.8
ZKL0803	888	42.1	1 334	55.4	3.0	3.0	3.0
ZKL0804	901	39.9	1 245	49.8	2.7	2.9	2.7
ZKS3901	785	27.4	1 086	32.9	1.4	1.8	1.6
ZKZ2803	1 070	54.8	1 554	72.9	3.7	3.7	3.7
ZKZ9001	1 040	55.6	1 260	65.8	3.8	4.6	4.0
ZK12-1	1 150	50.3	1 398	56.9	3.0	2.7	2.9
ZK16-1	1 150	52.7	1 200	57.3	3.2		3.5
ZK28-2	1 070	58.2	1 170	62.3	4.1	4.1	4.3

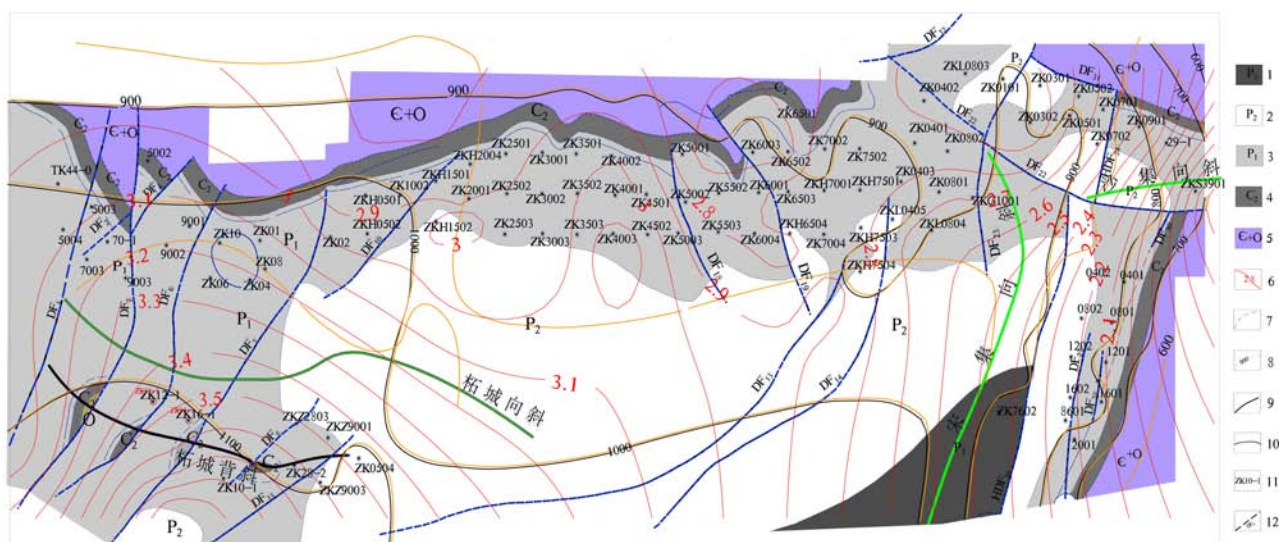


图3 研究区平均地温梯度等值线图

Fig.3 Isograms of average geothermal gradient in the study area

1—二叠系上统;2—二叠系上统中统;3—二叠系上统下统;4—石炭系上统;5—寒武—奥陶系;6—地温梯度等值线;
7—地层界限;8—新生界等厚线;9—背斜轴;10—向斜轴;11—钻孔编号;12—断层及其倾向

确与否是地震勘探成败的关键。本次地震资料解释工作是在 Sun Blade2000 工作站上进行的,使用美国斯仑贝谢公司的 GeoFrame 高版本解释系统,利用叠加和偏移数据体进行解释。采用人机联作方式,把技术人员对工区构造规律的认识及解释经验与先进的智能化解释软件相结合,全面展开解释工作。充分利用已有的地质信息资料和邻区地质资料,将宏观的区域地质构造规律和本测区的地质构造特点结合起来,力求对地层赋存形态、尤其是对煤系地层的赋存形态、构造发育特征建立起完整的概念模型。合理选择处理流程及参数,通过综合处理和解释,得到的 T_2 、 T_N 、 T_{O_2} 三个波组,是解释覆盖层、煤层、含煤地层分布范围的主要依据。 T_2 波一至两个相位,振幅强、连续性较好,波形稳定,视周期 20~25 ms 左右,频率 40~50 Hz,在时间剖面上容易识别和对比追踪。 T_2 波是本次地震勘探的目的波和标准波,是二₂煤层构造解释的主要依据。 T_N 波单相位,振幅中等,连续性较好,波形变化较大,全区可连续追踪对比。 T_N 波是本次地震勘探的标准波,是解释新生界底界面的埋深、赋存形态的主要依据。 T_{O_2} 波单相位,振幅较弱,连续性较差,波形变化较大,但全区仍可连续追踪对比。 T_{O_2} 波是本次地震勘探的辅助波,是解释 O_2 灰岩顶界面的埋深、赋存形态的主要依据。具体见图4地震记录。图5则

是利用地震资料来圈定的断层。DF7 断层为正断层,位于测区东部。该断层错断了二₂DF7 断层:正断层,位于测区东部。该断层错断了二₂煤层、 O_2 灰岩,并向东延展至区外。断层走向 NW、倾向 SW、倾角 $65^\circ \sim 79^\circ$,落差在二₂煤层、 O_2 灰岩分别为 0~180 m、0~180 m。区内延展长度在二₂煤层、 O_2 灰岩分别为 3 862 m、3 830 m。DF7 断层由 DZ14、DL1 等 2 条二维地震测线控制,为可靠断层(图5)。

对比柘城一带构造分布图(图2)和地温分布图(图3)可以看出,高温分布区恰好分布在基底构造较发育的东南部,即柘城背斜与北北东向断层的交汇区域,低温区域主要位于沙集向斜附近。而且在柘城背斜一带有岩浆岩发育,热源条件相对较好。北北西向断层发育时期相对较晚或者段距相对较小,北北西向断层附近地温梯度与附近区域差别不大。另外,断裂破碎带是地下水下潜和上涌的通道,带状热储地热田形成在与断裂相关(赵宝峰等,2022)。区内发育的高角度大断距正断层,特别是切割东南部背斜轴部断层,也是控热的重要因素。

3.2 地下水活动

在凹陷区西部及北部的边缘地带,地表水向深部入渗向东南径流过程中吸收周围地层热量,加热地下水,从而造成研究区西部北部边缘区域低温带,

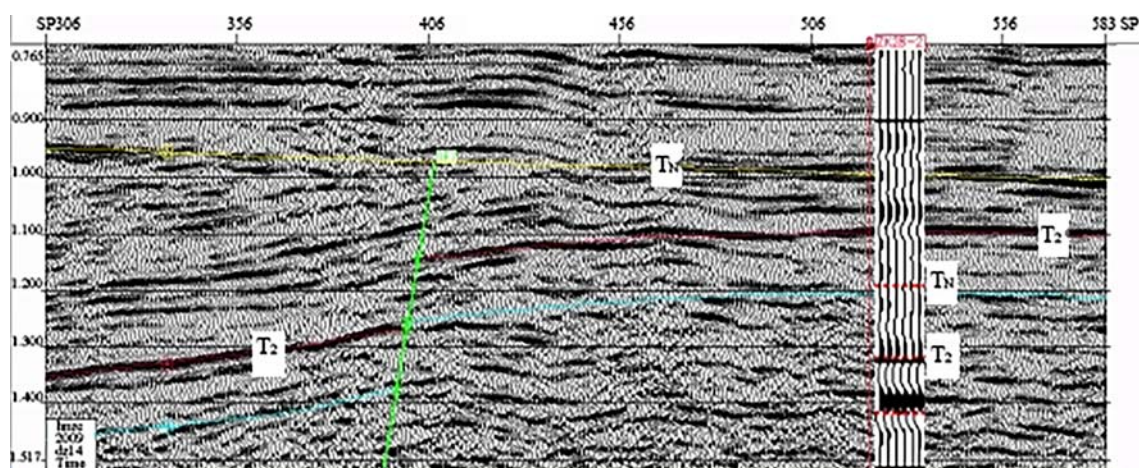


图4 时间剖面-镶嵌 ZK28-2 孔合成地震记录

Fig.4 Time profile mosaic composite seismic record of Zk28-2

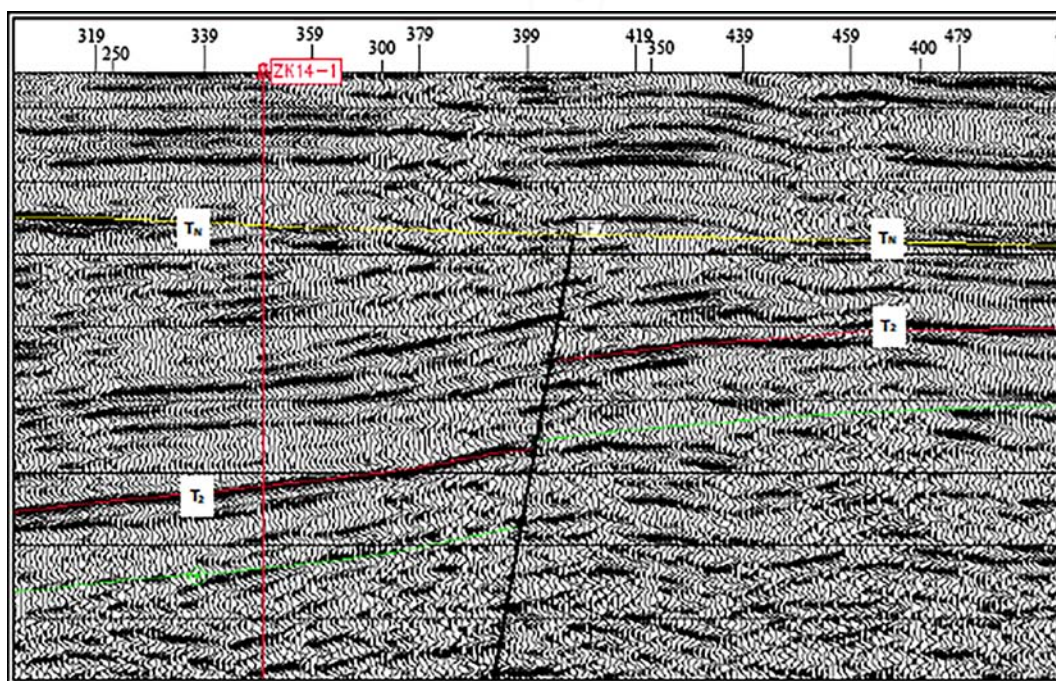


图5 DF7断层在地震时间剖面上的反映图

Fig.5 Reflection map of DF7 faults on seismic time profiles

在凹陷区的东南部,地下水经过较长距离径流或者较深的循环过程被加热具有与周围地层相同的温度。另一方面二叠系、石炭系或者奥陶系地层中深部热水通过北北东向断裂或者侵入的岩浆岩施加影响。断裂发育越深,岩浆侵入越多,对地温的影响也就越大,断裂为深部岩浆和热源上升的通道,地下水沿断层破碎带进行深部循环获得热量。

3.3 热储及盖层

研究区域新生界覆盖层 600 ~ 1 150 m, 盖层相

对较厚,而且黏土层厚度相对较大,隔热性能较好。新生界热储层主要有下部馆陶组,主要含水地层岩性为中细砂、含砾砂、粗砂,其次是古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩溶蚀裂隙热储层,含水层主要位于溶蚀孔洞、裂隙中或者构造带附近。

4 地热系统的成因机制

地热系统可分为隆起山地型地热系统和沉积盆地型地热系统两大类(张英等,2017)。从热的传导

上可分为传导型和对流型两种。研究区域地热系统成因可按区域构造历史进行评价,二叠系顶部新生界地层由于发育较多黏土隔水层或者弱透水层,新生界热储成因以传导型为主,底部基岩区域由于经历过三个演化阶段,地下水经过深部径流循环,局部岩浆侵入加热,然后沿断裂带上升到新生界地层底部,所以第一个不整合面以下地热成因模式为:传导—对流—传导。一般来说,对流区域地温梯度较平均地温梯度要大,从地温梯度统计来看,研究区对流区域可能仅在东南部柘城背斜与北北东地层交汇区域,通过分析认为岩浆侵入或者存在对流会对地温梯度分布不均一性造成影响。

5 结论

(1)商丘柘城一带新生界地层地温梯度变化范围为 $1.4 \sim 4.1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,新生界地层地温梯度平均值为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,基岩地温梯度变化范围为 $1.8 \sim 4.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,基岩地温梯度平均值为 $3.2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,平均地温梯度变化范围为 $1.6 \sim 4.3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,全区地温梯度平均值为 $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

(2)地温分布差异主要受基底构造控制,凹陷区背斜轴部地温相对较高,凹陷区向斜轴部及地下水径流边界区域地温相对较低。

(3)研究区域地热成因机制与地质构造历史密切相关,在新生界与二叠系不整合界面以上地层,以传导型为主,在不整合面以下的基岩区域以传导—对流—传导起主要作用,对流及局部岩浆岩侵入对区域地温分布的不均一性有重要影响。

中文参考文献

- 白博文,平建华,赵继昌,等.2022.河南淮阳县地热流体化学特征及其成因分析[J].中国地质,49(3):956-966.
- 陈怀玉,王少辉,马畅,等.2020.河南鄆陵凸起中深层地热资源特征及开发前景[J].矿产勘查,11(9):2017-2021.
- 龚晓洁,田良河,李自涛,等.2019.河南省沉积盆地热储勘探价值分区方案研讨[J].河南科技,672(10):118-122.
- 黄光寿,郭丽丽,黄凯.2019.河南省地热资源综合评价[J].地质找矿论丛,34(4):633-639.
- 黄光寿,郭丽丽,黄凯.2020.河南省沉积盆地五大构造单元地热地质特征[J].地质与资源,29(2):172-179.
- 刘国勇,赵忠新,任路,等.2022.沉积盆地中深层水热型地热资源评

- 价体系研究与应用[J].油气与新能源,34(2):38-47.
- 刘海,赵国红,宋阳.2020.安徽省地热资源特征及成藏模式研究[J].安徽地质,30(4):271-279.
- 刘元晴,周乐,吕琳,等.2020.山东鲁中山区地热地质特征及热水成因[J].地质通报,2020,39(12):1908-1918.
- 倪昆,卢磊,陈飞阳,等.2021.河南省沉积盆地水热型地热资源特征及潜力评估研究[J].地下水,43(1):13-16.
- 任鸿飞,朱怀亮,闫晋龙,等.2019.太康隆起尉氏段地热资源勘探远景分析[J].矿产与地质,33(3):502-507.
- 任战利,田涛,李进步,等.2014.沉积盆地热演化史研究方法 with 叠合盆地热演化史恢复研究进展[J].地球科学与环境学报,36(3):1-19.
- 史猛,康凤新,张杰,等.2019.胶东半岛中低温对流型地热资源赋存机理及找热模型[J].地质论评,65(5):1276-1287.
- 孙红丽.2015.关中盆地地热资源赋存特征及成因模式研究[D].中国地质大学(北京).
- 汪集暘,熊亮萍,庞忠和.1993.中低温对流型地热系统[M].北京:科学出版社.
- 汪集暘,邱楠生,胡圣标,等.2017.中国油田地热研究的进展和发展趋势[J].地学前缘,24(3):1-12.
- 王迪,国殿斌,汪新伟,等.2020.河南清丰地区岩溶热储地热地质特征[J].东北石油大学学报,44(1):32-44.
- 王贵玲,刘彦广,朱喜,等.2020.中国地热资源现状及发展趋势[J].地学前缘,27(1):1-9.
- 王国建,宁丽荣,李广之,等.2021.沉积盆地与隆起山地型地热系统地表地球化学异常模式差异性分析[J].地质论评,67(1):117-128.
- 王继华.2009.河南省地热资源开发与保护浅析[J].地下水,31(4):45-47.
- 王少辉,王琦,李哲,等.2020.河南通许凸起尉氏段地热田热储特征及资源评价[J].矿产勘查,11(9):2022-2027.
- 王心义,聂新良,赵卫东.2001.开封凹陷区地温场特征及成因机制探析[J].煤田地质与勘探,29(5):4-7.
- 徐世光,郭远生.2009.地热学基础[M].北京:科学出版社.
- 闫晋龙,孙健,王少辉,等.2020.河南通许凸起东部(睢县—商丘段)地热田热储特征及资源评价[J].矿产勘查,11(4):804-810.
- 杨义栋,刘彦广,赵盼,等.2020.周口凹陷区地温场特征及影响因素分析[J].中国矿业,30(3):231-236.
- 张英,冯建赞,何治亮,等.2017.地热系统类型划分与主控因素分析[J].地学前缘,24(3):190-198.
- 赵宝峰,汪启年,官大维,等.2022.带状热储地热田温度场特征及控热因素:以湖南省汝城县热水圩地热田为例[J].地质通报,41(11):2035-2046.
- 赵东,王海亮.2019.洛阳市南部区地热能场特征及影响因素研究[J].中国煤炭地质,31(8):44-48.
- 赵明坤,孙亚军,段忠丰,等.2022.河南漯河市明化镇组温热水地球化学特征及成因[J].现代地质,36(2):507-514.