

山东省东明地热田地球物理化学特征分析

王奎峰

(山东省地质科学实验研究院, 济南 250013)

摘要: 山东省东明地热田内蕴藏着丰富的地热资源。通过已有地质资料及近年的勘查项目研究成果, 对东明地热田的地热资源的地质背景、热储特征、地球物理化学特征等进行了研究分析, 认为东明地热田属于层控型低温地热田, 热储层主要为新近纪明化镇组下部、馆陶组、古近纪东营组地层, 该区的地温梯度主要受构造控制, 断裂导热是形成该地温场的一个重要因素, 地下热水水平方向水化学组分变化甚微, 具有明显的垂直分带性, 地热水水源主要为渗入的溶滤水。

关键词: 东明; 地热田; 地球物理化学特征; 热储层; 地温梯度

中图分类号: P641.3, P314.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2008)04-0346-06

地热能是一种集热、矿、水于一体的可再生新型清洁能源, 既是现实能源, 又是巨大的潜在能源, 具有广泛的应用价值。山东省东明地热田蕴藏着丰富的地下热水资源, 在华北平原具有典型性。结合本区已有地质、水文地质资料, 笔者就东明地热田的地球物理化学特征进行了探讨分析, 从而为今后该地区的地下热水开发利用提供地质依据^[1]。

1 地质背景

东明地热田地处黄河下游冲积平原, 聊考断裂西侧新华夏系第三沉降带的临清拗陷东明凹陷内, 东部向斜带, 区内地表全被第四系松散层所覆盖。受断裂构造的控制, 第四系下伏有新近系、古近系、侏罗系、二叠系、石炭系、奥陶系、寒武系和新太古代泰山岩群。

1.1 地层

本区域被第四系覆盖, 其中与地热资源有关的地层主要为古近系、新近系和第四系^[2]。

古近纪济阳群东营组是一套砂岩、泥岩的交互沉积。上部为灰绿色、灰白色砂岩、细砂岩及泥岩, 以砂岩为主, 厚度 0 ~ 300 m; 中部为灰色、棕红色泥岩、细砂岩, 以泥岩为主, 厚 100 ~ 150 m; 下部为灰白色、灰绿色细砾岩、细砂岩及泥岩, 以砂砾岩为主, 厚 0 ~ 150 m。本组上、下部颗粒较粗, 中部细,

顶部常缺失。

新近纪地层包括黄骅群馆陶组和明化镇组, 其中馆陶组是一套灰白色砾状砂岩、细砂岩, 灰绿色细砂岩和棕红色泥岩的间互沉积。上部为含砾砂岩、砂岩与泥岩互层; 下部为层块状砂砾岩夹泥岩; 底部为含石英、黑色燧石的砾状砂岩、砂砾岩。本组顶板埋深 1 150 ~ 1 550 m, 底界面埋深为 1 550 ~ 1 980 m, 厚度 370 ~ 400 m。明化镇组岩性主要由泥岩、砂质泥岩组成。上部为砂岩、砂岩与泥岩互层; 下部以泥岩、砂质泥岩为主, 及厚层状砾岩夹泥岩和薄层砂岩。

第四纪主要为黄河冲积物、沼泽化沉积物, 主要岩性为棕黄色粉砂质粘土夹各种不等砂砾, 灰、灰褐—灰黑色粉砂质粘土, 粘土局部夹灰白色、黄色粉砂层, 灰黄—黄色粉砂土、粉砂质亚砂土夹褐黄色粉质亚粘土, 厚 320 ~ 400 m。

1.2 地质构造特征

东明县城地处华北断拗(Ⅱ级)、临清拗陷(Ⅲ级)、东明拗陷(Ⅴ级)内。该构造格局发生于印支期、燕山期及喜马拉雅期, 新近纪—第四纪时相对稳定, 由于历经多次构造运动, 隐伏断裂纵横交错, 影响本区的主要断裂有聊考断裂、菏泽断裂和东明断裂(图1)。现分述如下:

(1) 聊考断裂: 是一条被第四系完全掩盖的隐

收稿日期: 2008-06-16

责任编辑: 林晓辉

基金项目: 山东省国土资源厅(2002-2003年度)矿产资源补偿费地质勘查项目

作者简介: 王奎峰(1981-), 男, 山东新泰人, 硕士, 助理工程师, 目前主要从事水文地质、工程地质、地热地质及地质矿产研究与评价工作; Email: maplewk@126.com。

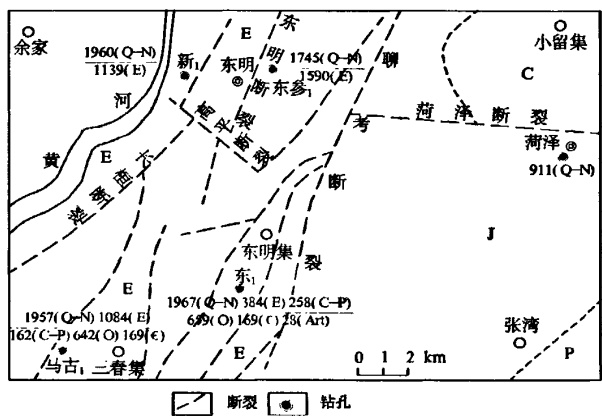


图 1 东明地区构造纲要图

Fig.1 Outline map of the structure in Dongming

伏深大断裂,是Ⅲ级大地构造单元"临清拗陷"与"鲁西隆起"的分界构造。断裂北起聊城以北,南至河南兰考,呈 NE23° 方向延伸,倾向 NW,倾角 60° 左右,全长 270 多千米,为一正断层,断距一般在 900 ~ 1 500 m,属于新构造运动较强的断裂,历史上沿断裂多次发生地震^[3]。它控制了临清拗陷的沉积和构造格局的形成,拗陷走向与其断裂相一致,其中发育有巨厚的新生代地层,是良好的地下热储集地层。

(2) 菏泽断裂:为一东西向断裂,向东被曹县、巨野断裂切割,向西被聊考断裂切割,长约 150 km,断裂倾向北,倾角 60° 左右,垂直断距大于 100 m,南升北降,造成东明以北新近纪地层变厚,其构造

活动发育是良好的地热通道。

(3) 东明断裂:位于地热田的东部,走向 NE20° ~ 45°,倾向 NW,是聊考大断裂的次级构造,燕山期与喜马拉雅期均有明显活动,它直接控制着地热田内新近纪地层的展布。断裂以东第四系+新近系厚度约 1 750 m,而断裂以西的厚度为 1 970 m,厚度相差 220 m,此断裂造成了东明凹陷内新近纪地层由东部向西南逐渐变厚的格局。同时,此构造是良好的地热通道,直接控制着地热田内地热异常的分布和形态。

2 地热田结构

本地热田热储模型为以断裂构造控制的层状

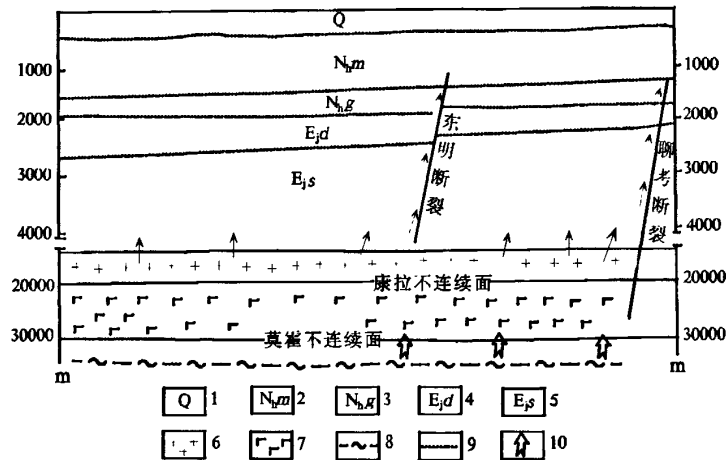


图 2 热储概念模型图

Fig.2 The concept model diagram of the geothermal reservoir

- 1.第四系;2.新近系明化镇组;3.新近系馆陶组;4.古近系东营组;5.古近系沙河街组;6.花岗岩;7.玄武岩壳;
8.地幔;9.地层整合与不整合界线;10.热源传导方向

砂岩孔隙型低温热储,热源沿深大断裂传导传输。在热储内对流,热水为沉积-渗入混合型。由大气降水补给并进行长期的深部循环,在较厚的第四系和新近系沉积物的覆盖下形成的。其热储模型如图2所示。

2.1 热源及水源

本地热田的热源主要是地壳深部及上地幔的传导热流,并受区内东部深大断裂聊考断裂的控制,深大断裂切割上地幔使地球内部的岩浆沿着深大断裂传到传输到地球的上部含水层,在大地热流加热的作用下,含水层中的孔隙液升温^[4]。

本区地下热水主要来源于大气降水。大气降水自西部基岩裸露带渗入到深部,由西向东缓慢的移动,历经较长时间,这种水平移动是本区地下热水的主要来源。其次,上部的孔隙水沿断面向深部运移,补给东明平原并进行深部循环,也成为本区地下热水的又一来源。

2.2 热储盖层

盖层主要为新近系热储层之上的第四系松散沉积物和明化镇组上部的地层。第四系地层岩性多为粘性土和砂性土,明化镇组顶部地层岩性为细砂岩与杂色泥岩互层。具有结构松散,孔隙度大,密度小,导热性能差等特点,是理想的盖层。

2.3 热储层

本地热田的热储集层为新近系黄骅群明化

镇组的下段、馆陶组及古近系济阳群东营组上段的碎屑岩孔隙型热水储集层。其岩性为胶结的粉细砂岩、砂砾岩,较疏松。热储层呈近水平状,埋深900~2000 m。具有较好的导热和导水性能,是本区理想的热储层。据已有资料显示该区的孔隙度约为30%。

3 地热田物理特征

3.1 电测深特征

电测深是利用地层岩性的电阻率之间的差异性来划分地层和地质构造。从下图断面图中可以看出:在 $10\text{ m} \leq AB/2 < 280\text{ m}$ 范围内 ρa 等值线变化较均匀, ρa 值一般在 $10 \sim 25\ \Omega\text{ m}$ 之间,厚度为320~380 m,是第四纪地层的反映;在 $AB/2 = 280 \sim 500\text{ m}$ 间, ρa 大部分小于 $10\ \Omega\text{ m}$,即在此深部附近出现了相对低阻层,此位置即为第四系与新近系的分界线;当 $AB/2 > 500\text{ m}$ 以后 ρa 值逐渐变大,等值线由稀疏变为较密集。从 $AB/2 \geq 1700\text{ m}$ 以后 ρa 等值线更加密集,反映岩层电阻率变高是新近系与古近系的界限,从下图3中可以看出这一界线大致在1560~1680 m之间。

3.2 地温场特征

(1) 地温场分布特征

该区域地温场分布在平面上受地质构造控制。总的规律是在渔沃乡处地温梯度达到最高值大于

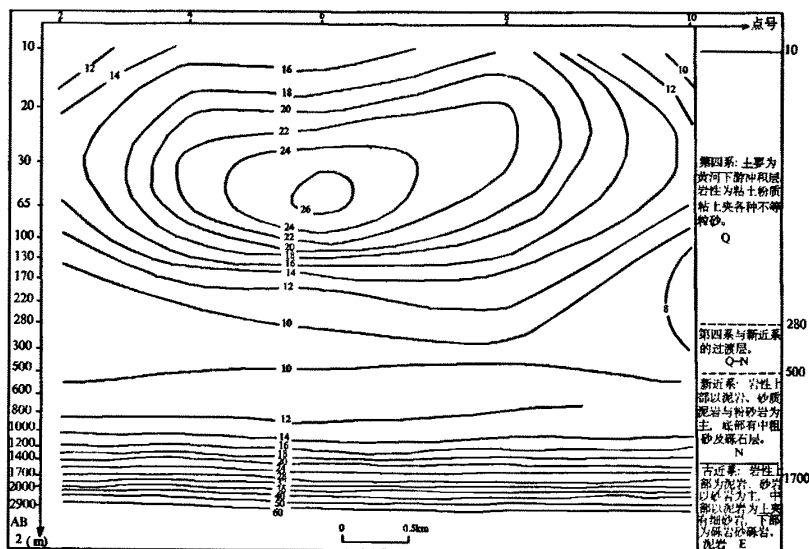


图3 电测深断面等 ρa 图

Fig.3 The electrical sounding equal ρa profile contour map

4.5℃/100 m, 而后随着远离东明断裂而慢慢的降低。地温梯度大于 3.0℃/100 m 的地热异常区分布在以渔沃为中心的中部地区。区域构造上位于东明断裂带附近, 这反映了区内地温场在平面上的变化与区内断裂构造分布相一致^[5]。

地热田地热异常区地温梯度随不同岩层的热导率变化而变化, 岩石热导率随岩石性质、结构、孔隙度等因素的差异而变化。一般情况砂质岩层的热导率大于泥质岩层的热导率, 结构致密的岩层比结构松散的岩层热导率大。第四系泥质成分多, 结构松散, 其热导率较小, 而新近系地层砂质成分多, 结构相对致密, 其热导率高于第四系。相同层段岩石热导率与地温梯度成反比关系, 热导率大的地层段地温梯度小。因此, 相同岩层其埋藏越深地温就越高。见地温与深度关系线图 4。

(2) 地温场形成条件分析

通过分析和综合整理认为该地热田区域地温场形成主要受以下四方面的控制:

① 沉积盆地是较高地温场形成的主要条件

东明凹陷自中生代以来沉积了巨厚的新生代地层, 使该区域形成了良好的盖层和热储层。

② 断裂构造的影响

东明地热异常区分布在聊考断裂以西的次级断裂构造部位上, 与东明断裂和菏泽断裂有着密切的关系, 东明断裂和菏泽断裂起着导通深部热源和接收上部地下水的补给及其热流再分配的导向作用, 故断裂交汇部位地温梯度值最大, 说明东明断裂和菏泽断裂对地热异常区地温场的形成起主要控制作用。

③ 地层岩性对地温场形成的影响

新近系和第四系的砂质泥岩、泥岩地层孔隙度一般为 20% ~ 30%。岩石热导率低, 具有较强的阻碍热传导的作用, 是一个巨厚的保温盖层, 同时新近系明化镇组下段、馆陶组又是良好的热储层。

④ 地下水活动对地温场形成的影响

在东明凹陷内新近系与古近系地层近于水平, 地下水是接受西部较远的山区补给, 地下静水压力的传递缓慢, 自西向东需历经较长时间, 形成热载体, 沿深大断裂活动中提高了一些地段的温度和热流值, 形成了该区域的地热异常区。

4 地热田流体的化学特征

4.1 地下热水的水化学特征

地下热水化学特征反映了地下热水同围岩之间的溶解与溶滤作用, 同时体现了岩浆活动、大气降水入渗及含水层之间的补给等因素^[6]。对本地热田内的地下热水的进行化学分析时, 明化镇组热水我们采取纺织厂地热井中的地热水, 馆陶组热水采取炼油厂地热井中的地热水。根据水质分析结果, 本地热田热水样品中明化镇组和馆陶组的水化学类型差异性较大。

(1) 明化镇组热储层地下热水的水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水, 阴离子以 HCO_3^- 为主, 含量为 455.98 mg/L, 阳离子以 Na^+ 占绝对优势, 含量为 239.42 mg/L, 总矿化度为 875.99 mg/L, 为淡水, PH 值为 8.18, 总硬度为 391.99 mg/L; 馆陶组热储层地下热水的水化学类型为 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水, 阴离子以 Cl^- 为主, 含量为 468.97 mg/L, 阳离子以 Na^+ 占绝对优势, 含量为 664.93 mg/L, 总矿化度为 2 053 mg/L, 为咸水, PH 值为 7.85, 总硬度为 45.64 mg/L。

(2) 该地热田地下热水水化学成分单一, 水平方向上的水化学组分变化甚微, 从水质分析资料中可以看出明化镇组和馆陶组热储层在垂向上

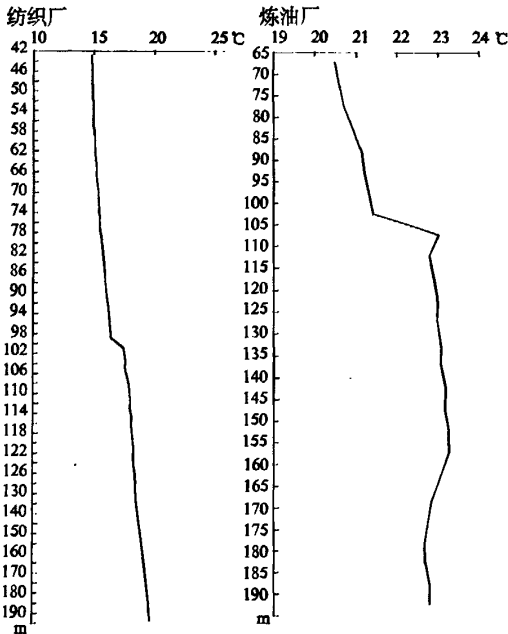


图 4 东明地热田代表性地热井地温与深度关系图
Fig.4 Ground temperature and depth relation in typical geothermal wells of the Dongming geothermal field

水化学类型相差较大,两者具有明显的垂直分带性。

(3)本地热田地热水中含有丰富的锶、碘、锂、溴等微量元素和其它化学组分,从下分析表 1 中可以看出,馆陶组地热水中的微量元素和组分的含量均高于明化镇组地热水的微量元素和组分的含量。微量元素的富集受围岩、地热水循环交替条件及水文地球化学环境的制约。随着深度的加大和地热水溶滤作用及不断的循环径流交替,地热水中的微量元素含量越高^[7]。

4. 2 地球化学地热温标计算热储层的温度

地球化学方法推测深部温度主要是利用地球化学温标。该方法建立的基础是地球流体与矿物在一定温度下达到化学平衡,在随后地下热水温度降低时,这一平衡仍予保持^[8]。因此,可以利用地热流体与重矿物成份之间的比例和相应的公式来估算热储温度(表 2),预测地热田的潜力。

(1)K-Mg 地热温标:K-Mg 地热温标对于温度的变化反应非常迅速,因此可以用于估测热储的最近温度,它适用于低温地下热水。

采用公式: $t = 4\,418/[13.98 - \lg(K/Mg)] - 273.15$

式中: t - 热储层温度(℃); K - 地热水中 K^+ 的浓度(mg/L); Mg - 地热水中 Mg^{2+} 的浓度(mg/L)。

(2) SiO_2 地热温标:用石英传导温标算得的温度(石英传导温度)一般高于热水井的出水温度 10 ~ 20 ℃,它通常不作为钻探期望温度,而只说明该地下热水曾经达到过的温度。

公式① $t = 1263/[5.32 - \lg(SiO_2)] - 273.15$

公式② $t = 1051/[4.655 - \lg(SiO_2)] - 273.15$

式中: t - 热储层温度(℃); SiO_2 - 地热水中可溶性 SiO_2 的浓度(mg/L)。

(3)K-Na 地热温标:Na-K 地热温标是基于理论热动力学的考虑,对于温度的变化反应相对缓慢,经常保存有 " 以前温度 " 的记录。

采用公式: $t = 933/[0.933 + \lg(Na/K)] - 273.15$

式中: t - 热储层温度(℃); K - 地热水中 K^+ 的浓度(mg/L); Na - 地热水中 Mg^{2+} 的浓度(mg/L)。

从计算结果来看,K-Na 地热温标和 K-Mg 地热温标温度均高于实测温度很多, SiO_2 地热温标温度与实测温度相差不太大,在该地区有一定的借鉴适用性。

表 1 东明地热田代表性地热水样水质分析表

Table 1 Geothermal water analysis in typical geothermal wells of the Dongming geothermal field

孔号	炼油厂	纺织厂	孔号	炼油厂	纺织厂
PH值	7.85	8.18	汞	<0.0001	<0.000 1
总硬度	45.64	391.99	偏硼酸	5.8	2.20
矿化度	2 035.93	875.99	硒	<0.002	<0.002
游离CO ₂	9.65		砷	<0.01	<0.01
钾	3.74	1.25	氟化物	2.36	1.96
钠	664.93	239.42	溴化物	1.3	<0.10
钙	10.88	5.65	偏硅酸	31.36	20.89
镁	4.48	3.96	锰	<0.01	<0.01
重碳酸盐	527.43	455.98	钴	<0.005	<0.005
硫酸盐	326.95	56.05	镍	<0.005	<0.005
氯化物	468.97	83.45	镉	<0.001	<0.001
锶	0.52	0.30	铁	0.28	<0.04
碘化物	0.49	0.18	锂	0.046	0.02
锌	<0.05	<0.05	钼	0.067	0.022
铜	<0.05	<0.05	硝酸盐	<0.046	1.1
银	<0.005	<0.005	亚硝酸盐	<0.002	<0.002
钡			耗氧量	1.57	0.71
铬	<0.01	<0.01	酚	<0.002	<0.002
铅	<0.01	<0.01	氰	<0.002	<0.002

测试单位:国土资源部济南矿产资源监督检测中心

表 2 热储温度计算结果表
Table 2 Hot reservoir temperature calculate results

孔位	热储层	K-Mg	K-Na	SiO ₂		实测温度 (℃)
				公式1	公式2	
纺织厂	明化镇组	80.00	50.09	42.60	42.00	28.00
炼油厂	馆陶组	84.86	88.86	57.48	59.97	49.00

表 3 地热水组分比例系数一览表
Table 3 Geothermal water component proportions

类别	RNa/rCl	RSO ₄ /rCl	RCa/rMg	RCl/rBr	R(HCO ₃ +SO ₄)/rCl
海水	0.85	0.05	0.19	800.00	0.05
明化镇组	4.42	0.50	0.87		3.67
馆陶组	2.19	0.51	1.47	826.75	1.17

4.3 地下热水的成因分析

东明地热田地下热水是在漫长的地质历史发展过程中各种自然因素综合作用的结果,其中水文地质条件对地下热水的形成起主要作用。在热水中一些物理化学性质相近的元素,往往具有一定的共生关系,利用其比例系数可以判断地热水的成因。经计算明化镇组和馆陶组中一些比例系数见下表 3,从表 3 中可以看出这些系数均高于海水,表明原始沉积水已经经历了相当程度的淡化,说明地下水水源为渗入的溶滤水。含硫酸系数较小,反映了硫酸盐的还原作用较强烈,具有一定的封闭程度^[9]。

5 结论

- (1)东明地热田位于聊考断裂西侧新华夏系第三沉降带的临清拗陷东明凹陷内东部向斜带,为低温层状砂岩孔隙型地热田^[10]。
- (2)该地热田的热储盖层主要为第四系松散沉积物和明化镇组上部的地层,热储层为新近系黄骠群明化镇组的下段、馆陶组及古近系济阳群东营组上段的孔隙型热水储集层。热源主要是地壳深部及上地幔的传导热流,水源主要为大气降水。
- (3)该地热田的地温梯度主要受构造控制,浅部地温场的形成主要与地质构造、地层岩性、地下水活动有关。
- (4)该地热田地下热水明化镇组和馆陶组的水

化学类型差异性较大,明化镇组热储层地下水化学类型为 HCO₃-Na 型,馆陶组热储层地下水化学类型为 Cl·HCO₃-Na 型,水平方向上的水化学组分变化甚微,但具有明显的垂直分带性。

(5)该地热田地热水水源主要为渗入溶滤水,是在一定的封闭还原环境下形成的。

参考文献:

[1] 石维栋,张森琦,周金元,等.西宁盆地北西缘地下热水分布特征[J].中国地质,2006,33(5):1 131-1 136.

[2] 王奎峰,宋国新,郭常来.聊城地区地热资源赋存特征研究[J].华南地质与矿产,2007,23(4):72-77.

[3] 王奎峰,母国妍,赵群.临清市区地热资源特征及开发探讨[J].地质调查与研究,2007,30(3):224-229.

[4] 李珂凌,宋丽红.濮阳市地热资源特征[J].水文地质工程地质,2004,31(6):78-81.

[5] 李秀英,蔡洪涛,任清岭.沧州市区地热地质特征及地热资源开发探讨[J].地球学报,2000,21(2):171-176.

[6] 陈静生.水环境化学[M].北京:高等教育出版社,1991.

[7] 颜世强,潘懋,邹祖光,等.山东德州凹陷地下热水地球化学特征及成因[J].中国地质,2007,34(1):150-151.

[8] 王莹,周训,于溪,等.应用地热温标估算地下热储温度[J].现代地质,2007,21(4):606-612.

[9] 于溪.北京城区地热田地下水的水化学及同位素研究[M].北京:中国地质大学,2006.

[10] 王奎峰.聊城西部地热田地热资源赋存特征研究[J].地质灾害与环境保护,2008,19(1):52-56.

Analysis of Geophysical and Geochemical Features in Dongming Geothermal Field, Shandong Province

WANG Kui-feng

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, China)

Abstract: Geothermal resource is very rich in Dongming geothermal field of Shandong Province. Based on the geological data recent years, the author synthetically analyses geological background, heat reservoir characteristic, geophysical and geochemical characteristic, and thinks that Dongming geothermal field is a stratabound low temperature geothermal field. The hot reservoir is mainly composed of the lower part of Minghuazhen Formation and Guantao Formation in Neogene period and Dongying Formation in Paleogene period. The geothermal gradient in this area is controlled mainly by the structure. The structure heat conduct is a key factor of this geotemperature field formation. The horizontal chemical component diversification in the geothermal water is tiny. But it is very obvious in the vertical direction. Geothermal water mainly originates from permeation leachate water.

Key words: Dongming; geothermal field; geophysical and geochemical feature; hot reservoir; geothermal gradient

Main Geological Features of the Wucun Super-unit in Zhejiang Province and a Discussion on its Emplacement Mechanism

GU Ming-guang, GONG Ri-xiang

(Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, China)

Abstract: The Wucun complex in Zhejiang Province is a Mesozoic complex, which is mainly composed of quartz monzonite and monzonite. Detailed field geological mapping and geological-geochemical study show that this complex displays a textural and compositional evolution sequence. According to the contact relation between the intrusive bodies and their wall-rocks, the intrusive rock's mineral and geochemical characters, the rock's texture and structure, the Wucun complex can be divided into three rock units (Dashan, Muchen and Xiawu unit), which are incorporated into a Wucun super-unit. From early to late, the magmatic intrusion shows obvious reversed order, this 'reverse' phenomenon is explained as the result of a zonal magma chamber. The three units take the shape of punctured concentric striatus in their layout, and this kind of emplacement may probably fall into the category of punctured diapir.

Key words: Wucun super-unit; geological features; evolutionary series; zonal magma chamber; emplacement mechanism; Zhejiang Province