

兰州—民和断陷盆地地热地质 条件分析及热储概念模型

郑希民^{1,2}, 王多云¹, 李凤杰¹, 李晓君², 张亚玲², 王 贞²

(1. 中国科学院兰州地质研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 甘肃煤炭地质勘察院, 甘肃兰州 730000)

摘要:研究了兰州—民和盆地的地热地质条件,认为盆地位于中祁连隆起带的东段,为地壳厚度陡变带部位,发育的NWW向和NNW向深大断裂成为深部热源的上升通道并控制地温分布.导热断裂与低热导率岩层组合容易形成地热异常,形成层状热储和带状热储,均为低温地热资源.提出该断陷盆地的热储概念模型是地壳深部供热—深大断裂导热—低热导率岩层聚热—侧向地下径流补水.

关键词:兰州—民和盆地; 地热; 热储

中图分类号: P314.2 文献标识码: A 文献编号: 1000-0844(2003)03-0215-06

0 前言

随着地热地质研究水平的提高和研究领域的拓宽,其成果除了继续支持地震的观测预报和地热资源的评价、开发外,还被广泛应用于岩石圈结构研究、油气地质研究、环境工程研究等领域.我国自20世纪70年代开始在西南地区 and 东部地区开展了比较系统的地温场及地热资源的研究^[1],在较短的时间内取得了丰富的研究成果,大大缩短了我国在这个研究领域与国际领先水平的差距.我国西北地区盆地众多,成因类型多样,油气和煤炭资源研究资料丰富.沿秦岭—祁连山—昆仑山构造带分布许多温泉和高热流值的中新生代盆地,其中除个别盆地开展过地温分布和大地热流测量等研究工作,绝大部分盆地没有开展过系统的地热地质研究及地热资源研究.为此本文通过搜集、分析区调、地震观测、油气及煤田勘探等资料,结合实地观测、采样分析、遥感解译和综合编图等手段,对兰州—民和断陷盆地的热源、控制地温因素、热储的类型及其概念模型进行了初步分析和讨论.其目的是抛砖引玉,为进一步研究提供线索及基础资料.

1 地质概况

兰州—民和盆地位于甘肃、青海两省交界地区,面积为11 355 km²,属中祁连隆起带的山间断陷盆地.该盆地褶皱、断裂发育,分为四个次级构造单元(图1).基底主要由变质岩和加里东期岩浆岩组成;盖层自下而上分别为侏罗系、白垩系、第三系和第四系.侏罗纪盆地由分散孤立的小型断陷盆地构成,发育河流相和小型湖泊—三角洲相含煤岩系,岩相构成复杂.白垩纪盆地演化为大型断陷盆地,沉降幅度加大,地层普遍超覆于早古生界之上,并在永登拗陷和巴州拗陷大范围发育巨厚的湖泊—三角洲沉积建造^[2].第三纪时,永登拗陷与巴州拗陷继续沉降,湖泊萎缩,形成了逾千米厚的河流相及膏盐沉积建造;同时中央隆起区开始形成,即盆地沉积中心由中央隆起向两侧转移.上述三期大地构造及沉积演化相应造就了侏罗系、下白垩统和第三系等三个构造层.盆地新构造形迹显著,活动频繁.

收稿日期: 2003-06-24

基金项目: 甘肃省计委能源建设基金资助.

作者简介: 郑希民(1962—),男(汉族),黑龙江庆安人,副研究员,现从事石油地质学和煤田地质学方面的研究工作.

2 大地热流背景

根据中国布格重力异常图(马杏垣等, 1987), 兰州—民和盆地位于中国境内三大重力异常梯度带之一的昆仑山—祁连山—大雪山—横断山重力梯度带上, 所处位置是该带由东西向转为南北向的转折点。根据中国地壳构造轮廓图(王谦身, 1982)和中国地壳厚度分布图(冯锐, 1985), 该盆地处在青藏高原隆起东北边缘地壳厚度陡变带急剧减薄的部位。根据中国大陆热流统计构造分区图(陈墨香等, 1993), 西南分区的大地热流值最高, 为 $70 \sim 85 \text{ mW/m}^2$, 盆地则位于这个构造区的东北角, 并且接近两条构造分区线的结合部位。

根据鄂尔多斯盆地、祁连及秦岭造山带大地热流值、岩石密度和放射性元素含量测定结果,

这三个地质构造单元莫霍面的温度分别为 $554 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $798 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $756 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[3]; 它们的近地表平均大地热流值分别为 30 mW/m^2 , 45 mW/m^2 和 47.47 mW/m^2 ; 三者的深部相对温度与浅部相对大地热流值基本对应。兰州至西宁一线 $1\ 000 \text{ m}$ 、 $2\ 000 \text{ m}$ 、 $3\ 000 \text{ m}$ 深度地温分别为 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $60 \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $90 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[1], 兰州—民和盆地浅部的大地热流值为 $47 \sim 83 \text{ mW/m}^2$, 平均为 66 mW/m^2 ^[4], 这两项指标均明显高于相邻地区。

根据区调资料和 TM 图像解译结果, 兰州—民和盆地断裂构造形迹主要有 NWW 向、NNW 向(包括近 SN 向)和 NE 向等三个方向。NWW 向断裂带主要有三条, 它们是盆地北缘的马牙雪山北缘麓断裂、南缘的拉脊山北缘断裂和中部的民和一雾宿山—兴隆山断裂。该向断裂与区域重力梯度带及地壳厚度陡变带等值线平行, 也与祁连造山带走向一致, 在中祁连和北祁连构造带上发育岩浆岩、局部发育蛇绿岩套和双变质带, 由此认为 NWW 向断裂为区域性深大断裂。NNW 向(包括近 SN 向)断裂主要有拉脊山东缘断裂带、大通河东段断裂带、庄浪河断裂带等。该向断裂为盆缘断裂或为盆地次级构造单元的边界断裂, 根据盆地内部重力勘探和电法勘探解释结果, 这些断裂多为区域性的、隐伏的基底断裂^[5], 估计其规模和发育深度仅次于 NWW 向断裂, 因此本文也将其视为深大断裂。

综上所述, 兰州—民和盆地既处在厚度陡变带的部位, 又具有较高的大地热流背景, 而且深大断裂发育, 为深部热流上升创造了有利条件, 从而导致了浅层地温和大地热流值明显偏高。因此本文认为该盆地的热源来自于下部地壳和上地幔。

3 影响地温分布的主要因素

3.1 地热异常受区域断裂构造控制

兰州—民和盆地所处的祁连山断褶带东段及其相邻地区共有六个地温梯度大于 $3.5 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$ 的高值区^[4], 这些高值区沿 NWW 和 NNW 两个方向排列(图 2)。沿 NWW 向有三排, 分别是俄博—靖远、海晏—民和(兰州)—通渭、共和—夏河, 它们分别与北祁连、中祁连和西秦岭三个构造带相对应。沿 NNW 向有三列, 分别是俄博—共和—夏河、民和(兰州)和靖远—通渭。沿 NWW 向排列的地温梯度高值区, 包括温泉和热水井与区域构造线主体走向一致; 根据大地电测深的解释结果, 沿兰州—天水一线存在一条高导带^[5], 其方向为 NWW 向, 沿途温泉发育。因此 NWW 向断裂严格控制了地温分布。NNW 向断裂在祁连山断褶带中普遍发育, 其级别和规模低于 NWW 向断裂, 但是在贵德西侧、民和附近、永登以南等地沿该向断裂广泛分布温泉和热水井。经实地考察, 药水沟温泉、龙王沟温泉、Y15 热水自流井和高地温的海石湾煤

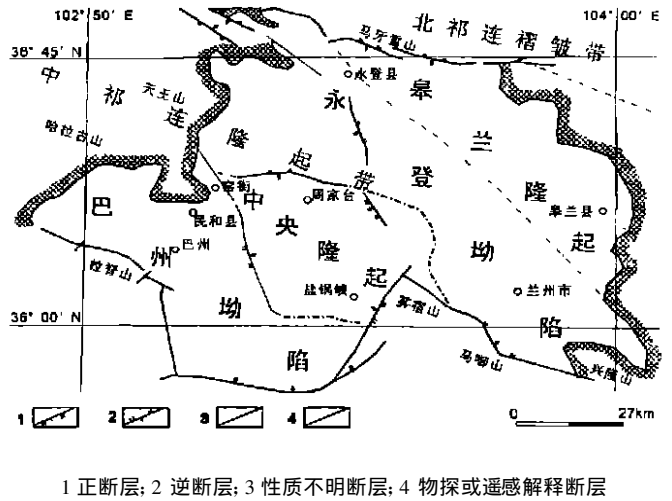
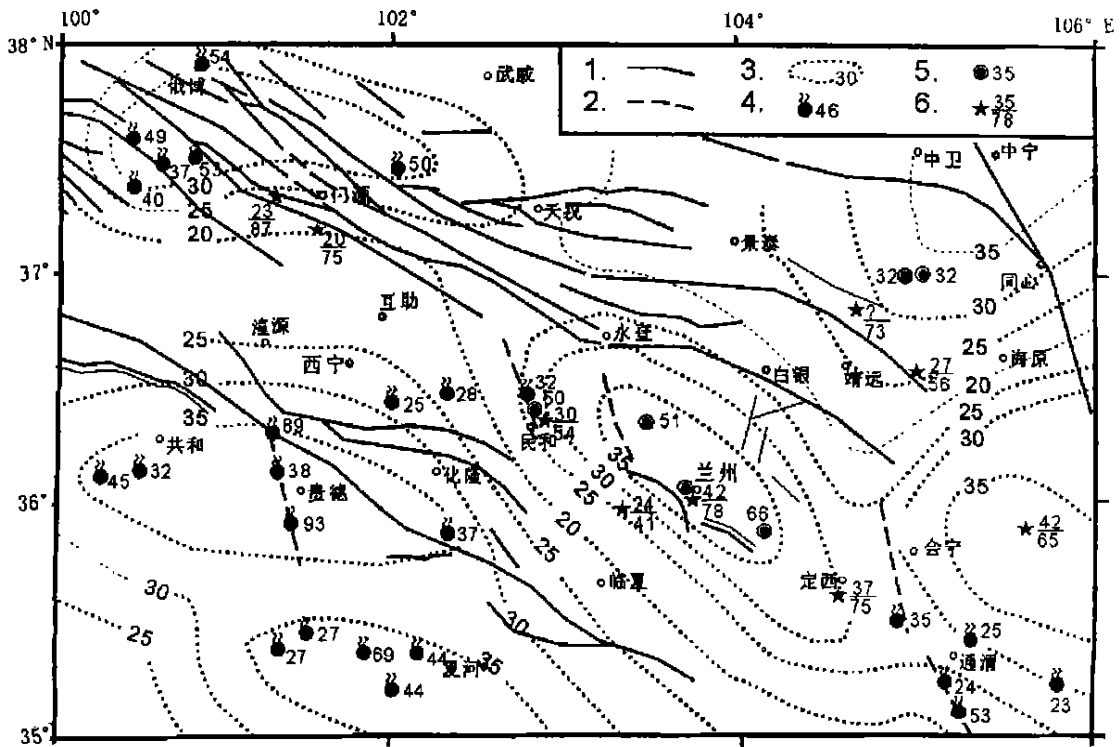


图 1 兰州民和盆地构造分区图

Fig. 1 Tectonic division in Lanzhou-Minhe basin.

田全部沿盆地西缘 NNW 向断裂带分布, 而且靠近断层地温升高, 远离断层地温降低, 明显受该向断裂控制(图 3). 如前所述, 该盆地位于重力梯度带由东西向转为南北向的转折部位, 而 NWW 和 NNW 正是这两个方向的过渡角度, 也是盆地深源断裂的主要走向. 这两个方向的断裂既控制较大规模的断块, 也向上传导热流, 使断裂附近的地质体获得更多热量, 并产生地热异常.



1 主干断裂; 2 北北西向断裂; 3 地温梯度等值线; 4 温泉及温度; 5 钻孔及地温梯度; 6 热流测点地温梯度/热流值

图 2 祁连山东段断裂构造与地温梯度分布图(据雷芳等 1999 年修改)

Fig. 2 Distribution of tectonics and geothermal gradient in eastern Qilianshan region (adapted from Lei Fang et al., 1999).

3.2 地热异常与低热导率岩层密切相关

在兰州—天水地区的各类岩石中^①, 沉积岩中的粘土岩、泥岩的热导率最低. 砾岩和砂岩的热导率变化范围大, 其热导率随着石英、白云岩的含量增高而增高; 也随着压实作用的增强——密度增大而增大. 因此, 一般中生代、古生代的沉积碎屑岩比新生代的同类岩石的热导率高^⑥. 岩浆岩和变质岩的热导率为中等偏高.

由于兰州—民和盆地构造复杂、断裂发育, 中新界比较破碎, 有利于散热, 不利于聚热. 所以泥岩、粘土岩等低热导率(高热阻)岩层的聚热、阻热作用在这个盆地就显得尤为重要, 在此用以下两个实例加以说明:

(1) 盆地西缘断裂带总体呈 NNW 走向, 其西侧是元古代结晶灰岩, 东侧是中新代地层断块. 这些断块规模不等, 厚薄不一. 沿该断裂带断续分布有药水沟温泉、龙王沟温泉、Y15 地热异常钻孔和窑街—海

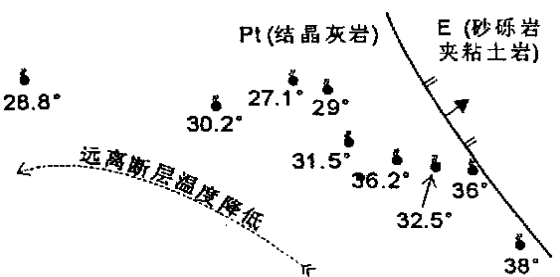


图 3 药水沟温泉及其温度分布图

Fig. 3 Distribution of hot springs and temperature in Yaoshuigou.

① 梁恕信, 等. 天水地震区大地热流及岩石圈热结构. 1985.

石湾“高地温”煤田等,其最高地温梯度达 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,热流值最高达 $83\text{ mW}/\text{m}^2$.这些地热异常点所在的中新生界地层有两个特点,即地层厚度相对较大和地层中赋存较厚的泥岩(侏罗纪煤系地层)或粘土岩(第三纪地层),而没有出现地热异常的地点其地层厚度薄,古基底埋深浅;或者(白垩纪)地层厚度大,但以砂、砾岩层为主而泥岩层不发育.因此本文认为造成该盆地地热异常的原因主要是地层中的泥岩、粘土岩具有较大厚度,并在深部与断层接触,封闭了热流沿断层上升的通道,使热流传递方式由对流为主变为传导为主;同时这些低热导率岩石的阻热效应使热流聚集、温度升高.由地下径流产生的热水对流只起到了辅助增温的作用,但不是主导作用,因为窑街—海石湾煤田的地下水并不发育,但其地温及地温梯度却较高.

(2) 在兰石厂钻井中,下部主要为砂岩,地温梯度仅为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,向上砂岩减少,粘土岩增多,增温速度加快,地温梯度逐渐升高,接近顶部几乎完全为粘土岩时地温梯度达到最高(图4).这种规律在许多报道中已经总结出来^[6].这里所要强调的是,假如没有中上部粘土岩的阻热效应,地温肯定降低,可能就不会出现地热异常.因此,在该盆地无论是带状热储还是层状热储,低热导率岩层的阻热、聚热作用是产生地热异常的重要因素之一.

兰州—民和断陷盆地目前所发现的地热异常区都分布在两个拗陷之中,两个隆起区的地热异常点很少,可能与隆起区断裂发育和缺少高热阻岩层有关.

4 热储类型及其概念模型

4.1 热水储层类型及特征

热储是指地热流体相对富集、具有一定深透性并含载热流体的岩层或岩体破碎带.层状热储是赋存于盆地沉积地层中呈层状分布的热储;带状热储主要是指受断裂控制,沿断裂带呈带状分布的热储.在盆地边缘或断裂发育的盆地内部经常出现受断裂控制的小型沉积断块,这种断块中的热储本文将视为层状热储,如Y15号钻井中的热储.

兰州—民和盆地存在带状和层状两种热储(表1),主要分布于永登拗陷内部的兰州市七里河区、红古区和永登县境内.层状热储赋存于侏罗系、白垩系或第三系中,岩性主要为砾岩、砂岩.根据兰石厂钻孔测井曲线解释结果判断,孔内既有白垩系热储也有第三系热储.孔内有三套含水砂砾岩层,深度分别为 $369\sim 736\text{ m}$ 、 $922\sim 1\ 179\text{ m}$ 、 $1\ 392\sim 1\ 871\text{ m}$.最上部的第三系砂岩埋深浅,温度仅为 $25\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$;中部热储赋存于第三系中,共有13个分层,总厚度 63.5 m ,温度为 $40\sim 46\text{ }^{\circ}\text{C}$.下部热储赋存于白垩系中,岩性主要为砂砾岩,共有18个分层,总厚度为 257.2 m ,温度为 $51\sim 61\text{ }^{\circ}\text{C}$.上述热储的测井解释含水饱和度为 $74\%\sim 98.6\%$,平均为 88.8% ;测井解释平均孔隙度为 24.4% .该孔白垩系的热储规模及温度优于第三系热储.

带状热储主要由元古界结晶灰岩构成,断裂裂隙发育,富水性好.其中药水沟和龙王沟温泉出露于元古界与下第三系断裂带上或位于侏罗系与第三系的断裂带上,热储主要呈带状分布.水温 $23.6\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$;热水汇总流量 $11.5\text{ L}/\text{s}$;热水化学类型属 $\text{Cl}-\text{SO}_4-(\text{K}+\text{Na})-\text{Ca}$ 型;矿化度 $1.31\sim 2.21\text{ g}/\text{L}$;pH值一般为 $6.8\sim 7.2$;总硬度为 $31.13\sim 70$ 德国度.

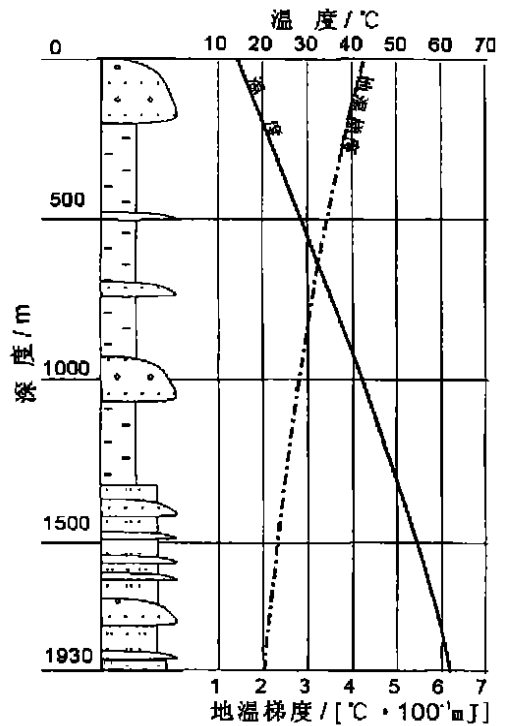


图4 兰石厂钻井地温与地温梯度关系图

Fig. 4 The Geotemperature and geothermal gradient of drill well in Lanzhou.

表1 热储类型及基本特征表

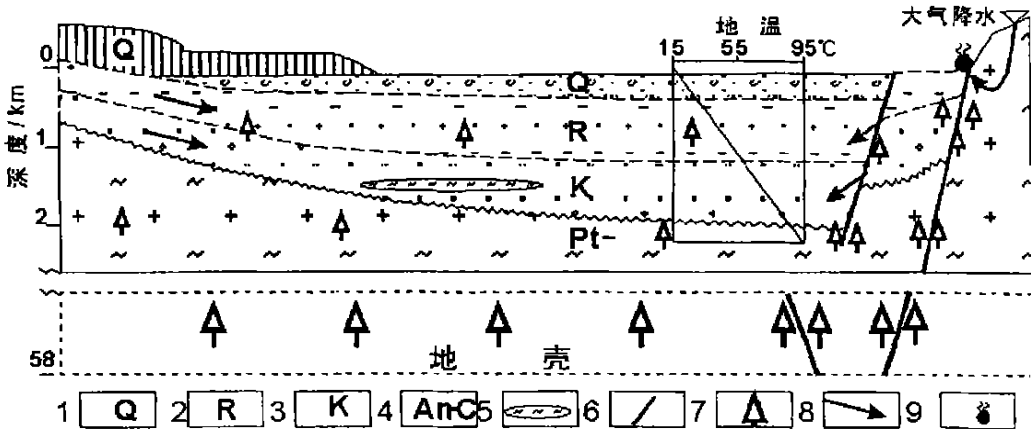
热储类型	地热异常点	时代	岩石类型	埋深/m	温度/℃	测温静井时间/天	水质类型
层状	兰石厂钻孔	R	砂岩	369~736	25~35	6	不祥
		R	砂岩	922~1179	40~46	6	不祥
	K ₁	砂砾岩	1392~1871	51~61	6	不祥	
	窑街Y15钻孔	J ₃	砾岩	380~410	35	20	中性微咸水
带状	永登大涝池机井	N	砂岩	200~230	18.5	30	Cl ₂ SO ₄ -Na ⁺ Ca
	永登药水沟温泉	Pt	结晶灰岩	0~200	24~38	长观	

4.2 热储概念模型

前已述及, 兰州—民和盆地的热源来自下部地壳和上地幔, 特殊大地构造背景下形成的深大断裂成为导热通道, 热流沿断裂上升、扩散, 到近地表扩散的方式为传导和对流. 在传导方式下, 低热导率的岩层是聚积热流, 造成局部地温异常的关键因素; 在对流方式下, 断裂构造的发育程度和地下水的贫富、流动性是关键因素. 盆地拗陷区断裂构造相对不发育, 为封闭或半封闭的对流体系, 有利于热异常的产生; 盆地隆起区断裂构造发育, 形成开放的热对流体系, 不利于热流的聚积.

在永登拗陷和巴州拗陷的南部地区, 大面积出露的中新生代地层发育孔隙水、裂隙水, 泉眼丰富. 根据钻孔和电法勘探资料分析, 这些出露的含水层向深部延伸时, 有的连续或基本连续, 有的则被大型断层完全断开. 在前一种情况下, 大气降水直接以侧向地下径流的方式补给热储; 在后一种情况下, 大气降水先通过断层带或断层另一盘的含水层, 然后沿侧向补给热储. 另外, 也不排除在白垩系或第三系中可能存在古封存水.

综上所述, 该盆地的热储概念模型是: 地壳深部供热—深大断裂导热—低热导率岩层聚热—侧向地下径流补水(图5).



1. 第四纪; 2. 第三纪; 3. 白垩系; 4. 前寒武系; 5. 古封存水; 6. 断裂; 7. 热流; 8. 侧向径流; 9. 温泉

图5 兰州—民和盆地热储概念模型

Fig. 5 Conceptual model of geothermal reservoir in Lanzhou—Minhe basin.

5 结论

(1) 由于兰州—民和断陷盆地位于中祁连隆起带的东段, 处于地壳厚度陡变带部位, 发育北西西向和北北西向深大断裂, 这些深大断裂是下地壳或上地幔热流的主要通道, 在其附近地热异常现象普遍存在.

(2) 无论是带状热储还是层状热储都与导热断裂、低热导率(高热阻)岩层的聚热效应有关.

(3) 兰州—民和盆地的热储概念模型是: 地壳深部供热—深大断裂导热—低热导率岩层聚热—地下径流补水.

[参考文献]

- [1] 王钧, 黄尚瑶, 黄歌山, 等. 中国地温分布的基本特征[M]. 北京: 地震出版社, 1990. 1—39.
- [2] 李麒麟, 张有龙, 赵桐, 等. 兰州—民和盆地白垩统研究新进展[J]. 西北地质, 2000, 33(1): 8—12.
- [3] 张必敖, 董治平, 韩友珍. 南北地震带北段地温场的初步探讨[J]. 西北地震学报, 1987, 9(1): 26—32.
- [4] 雷芳, 董治平, 刘宝勤, 等. 甘宁青地区地温场及其与地震的关系[J]. 甘肃科学学报, 1999, 11(3): 22—27.
- [5] 李百祥. 从地温场特征探讨兰州断陷盆地地热资源前景[J]. 甘肃地质学报, 2001, (1): 20—24.
- [6] 陈墨香, 汪集. 中国地热资源[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 91—123.

ANALYSIS OF GEOLOGICAL CONDITIONS ON GEOTHERM AND THE CONCEPTUAL MODEL OF GEOTHERMAL RESERVOIR IN LANZHOU—MINHE BASIN

ZHENG Xi-min^{1,2}, WANG Duo-yun¹, LI Feng-jie¹
LI Xiao-jun², ZHANG Ya-ling², WANG Zhen²

(1. Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China;

2. Institute of Coal and Geology Exploration, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By the research of geological conditions of geotherm in Lanzhou—Minhe basin, it is considered that the basin lies east section of Middle Qilian Upfold Belt and on the deep-stope belt of crustal thickness, where the deep and great faults with NWW and NNW direction become ascending channels for deep thermal source, and control the distribution of geotemperature. Combination of heat conducting faults and low conductive stratas easily form geothermal anomaly region. There are layered and banded thermal reservoirs in the basin. The conceptual model of geothermal reservoir in the basin is proposed in the paper, that is deep crust provides thermal resource; deep and great faults conduct geotherm; low heat conductive stratas accumulate geotherm and ground water runoff supply water.

Key words: Lanzhou—Minhe basin; Geotherm; Geothermal reservoir