

文章编号:1004-4116(2021)02-0078-06

甘肃武威西营地区存在优质干热岩资源的可能性探讨

鲁有朋,王玉玺,马 涛,包国志,李腾飞,杨春霞

(甘肃省地矿局第三地勘院,甘肃 兰州 730050)

摘 要:研究区位于甘肃省武威市凉州区西北部,中酸性岩体发育,活动断裂密集,温泉密布,地热钻井揭露温度高,80.23 m 钻孔实测孔底温度可达59℃;地温梯度高达8.5℃/100 m,是正常地温梯度2~3倍,地热增温随深度增大而升高;航磁 ΔT 异常等值线图经航空磁力测量图解译,研究区南部有NW—SE向有磁异常,推测区内航磁 ΔT 异常由隐伏花岗岩体引起;依据岩石放射性分析,区内规模较大的北大坂花岗岩体中含有半衰期长、含量高的铀(U)、钍(Th)、钾(K)等放射性元素,是构成干热岩成藏的稳态热源;侏罗系、白垩系泥岩、砂砾岩等对干热岩成藏起到聚热保温的作用,是构成干热岩成藏的良好盖层。通过对该区地质、水文、地球物理资料的研究认为,武威市西营地区存在潜力较大的优质的高热流酸性岩体型干热岩资源,建议在该区开展干热岩资源的专项调查研究工作,建立干热岩资源靶区,为今后的开发利用奠定基础。

关键词:西营地区;干热岩;热流值;磁异常;花岗岩;放射性热源;甘肃武威

中图分类号:P314.2

文献标志码:A

干热岩(Hot Dry Rock)是一般温度大于180℃,埋深数千米,内部不存在流体或仅有少量地下流体(致密不透水)的高温岩体^[1]。干热岩的岩性一般为固体的结晶岩、变质岩或其他岩类,以中酸性花岗岩类为主^[2]。从干热岩地热资源区域分布看,我国干热岩资源主要分布在青藏高原、松辽盆地、渤海湾盆地东南沿海等地。我国自2010年以来在陕西关中地区、青海共和盆地、山东省日照市莒县和五莲县、山东省威海市文登县相继勘探发现了高温干热岩资源,从而引起了甘肃省地热界和地质工作者的高度关注。然而,除了张翔等于2018年提出了甘肃省干热岩预测靶区之外^[3],甘肃目前尚未发现优质的干热岩资源。究竟甘肃省有无干热岩资源、分布位置、成藏条件如何等等。针对上述问题,作者广泛收集分析武威市西营地区既有地质、水文、地球物理资料的基础上,结合西营地区地热异常(温泉、地热井)有限的勘探测试数据和花岗岩放射性分析测试数据^[4-5],通过对比青海共和盆地干热岩资源的成藏地质背景发现,研究区具有与共和恰不恰干热岩相似的地质背

景,从而引发了对武威西营地区存在干热岩资源可能性探讨,期望得到有关部门的重视,及时对研究区干热岩资源进行调查研究与开发利用。

1 研究区地质概况

研究区位于北祁连造山带的中东段,北邻阿拉善地块,南接中祁连地块,西为阿尔金断裂所截,向东与北秦岭相接,呈NW向展布,是一个具有典型的沟—弧—盆体系的早古生代造山带^[6]。区内出露的地层主要有寒武纪大黄山组、三叠纪延长组、二叠纪窑沟组和大黄沟组、白垩纪河口群、第四系等,局部见有极少量侏罗系龙凤山组出露(图1)。其中寒武系大黄山组的灰绿色—灰黑色变质砂岩局部夹浅灰色板岩及绢云千枚岩,为一套巨厚的浅变质的浅海相碎屑岩建造;二叠系、三叠系和白垩系为一套辫状河流相沉积环境下形成的碎屑岩沉积建造;侏罗系龙凤山组为湖泊沼泽相沉积环境下形成的以砂、页岩为主的含煤建造。

收稿日期:2020-05-12

作者简介:鲁有朋(1986~),男,陇南西和县人,工程师,2012年毕业于兰州大学地质学专业,从事区域地质矿产调查工作。

E-mail:gsskywuyong@163.com

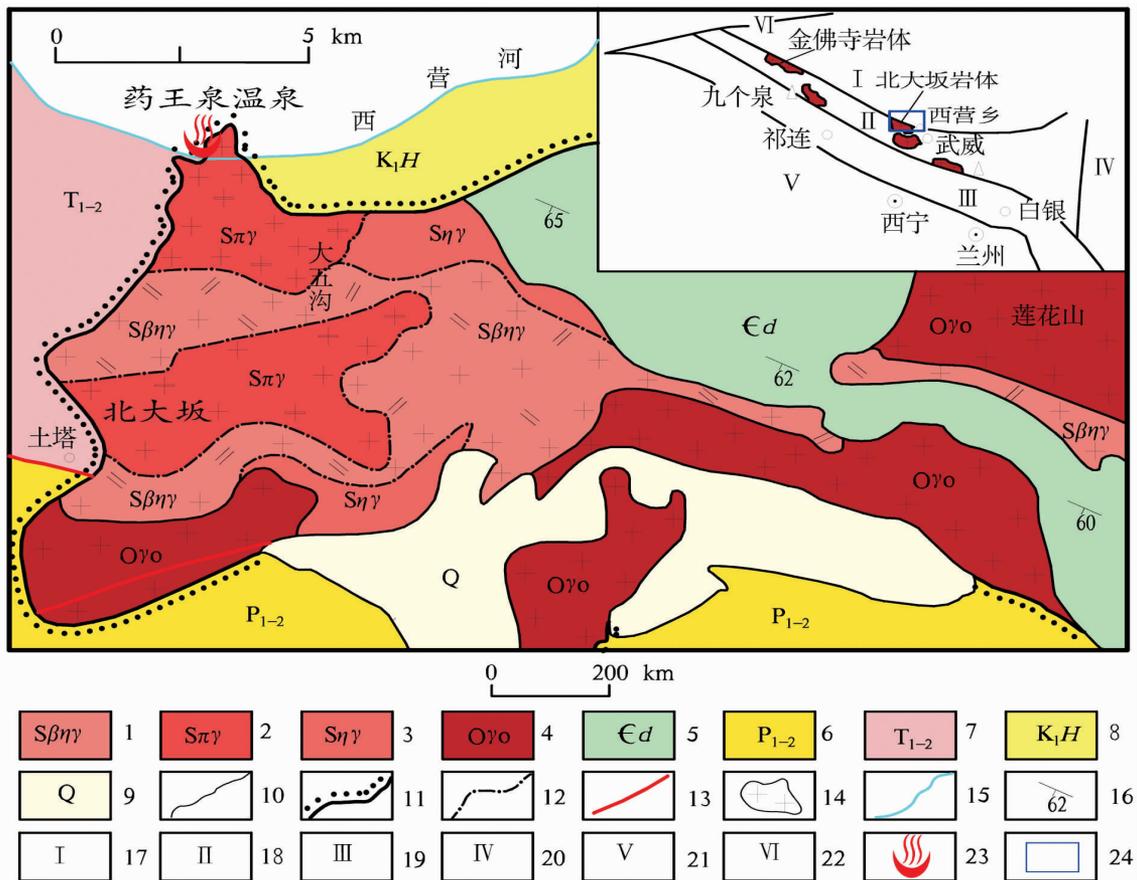


图1 研究区地质略图

Fig. 1 Geological sketch of the study area

- 1—粗中粒黑云二长花岗岩;2—斑状二长花岗岩;3—中细粒二长花岗岩;4—英云闪长岩;5—寒武纪大黄山组;6—二叠纪窑沟组;
 7—三叠纪延长组;8—白垩纪河口群;9—第四系;10—地质界线;11—角度不整合界线;12—脉动侵入界线;13—断层;
 14—花岗岩体;15—西营河;16—产状;17—阿拉善地块;18—走廊过渡带;19—北祁连造山带;
 20—鄂尔多斯地块;21—中祁连地块;22—阿尔金断裂;23—药王泉温泉;24—研究区位置

区内中酸性岩体广布, 规模较大的岩体主要包括加里东晚期的北大坂二长花岗岩($\gamma\eta S$)和加里东中期的莲花山斜长花岗岩($\gamma o O$), 岩性均为中酸性侵入岩, 主要有花岗闪长岩、花岗岩、二长花岗岩等, 多呈岩枝、岩株和岩基状。出露面积一般为数十至上千平方千米, 其展布方向与区域构造一致。中酸性岩体为研究区干热岩热源的存在提供了前提条件。

区内及邻区构造复杂, 褶皱断裂发育, 具有多期次活动特征。断裂多呈 NE—EW 向密集分布, 为区内干热岩形成提供构造条件。

2 干热岩成藏条件分析

2.1 大地热流背景

研究区所处祁连山东中段属青藏高原北缘, 新构造活动强烈, 是新生代以来大规模推覆叠置隆起

的造山带北缘部分, 强烈的构造运动使这一地带具有较高的大地热流值(72 mW/m^2), 高于我国大陆地区大地热流平均值 62.53 mW/m^2 , 也高于隆起带两侧具有较低热流值的典型挤压性盆地, 如西北侧的河西走廊盆地大地热流值为 $51.15 \sim 54.83 \text{ mW/m}^2$, 南侧的柴达木盆地大地热流值平均值为 53 mW/m^2 。以上分析表明, 研究区具有较高的热流背景, 为规模较大的热盆(热盆 $\geq 65 \text{ mW/m}^2$ 、温盆 $50 \sim 60 \text{ mW/m}^2$ 、冷盆 $\leq 50 \text{ mW/m}^2$), 具备干热岩成矿的高热流值背景条件(图 2)。

2.2 地温梯度条件

据钻孔揭露, 研究区具有地热井温度高、地温梯度大特点。依据药王泉地热田 WR1 号孔 18 个月动态观测结果, 地热田水位埋深及水温变化不大, 39 m 以下的地温梯度为 85°C/km 。而西藏地区和青海地

区地温梯度分别为 $21.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 和 $74.9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ^[7], 均低于西营地区的地温梯度, 从而说明研究区具有地温场高、地温梯度大的特点, 具有形成优质干热岩资源的潜力。

2.3 地热地质条件

研究区位于区域热源所在的祁连山北缘断裂带, 武威药王泉温泉位于研究区西南部, 药王泉温泉由 3 眼温泉组成, 水温 28°C 。1995 ~ 1996 年, 甘肃省地矿局第二水文地质工程地质队, 对该地热田进行了水文地质普查、水文物探和钻探, 分别施工孔深 80.23 m 和 89.47 m 探采结合井 2 眼。井底 80 m 处温度为 59.0°C , 井水抽出井口温度分别为 56°C 及 54.5°C 。钻孔水位埋深分别为 1.34 m 及 1.47 m , 分别高于河谷第四系空隙潜水位 1.66 m 及 1.53 m 。钻进时单井涌水量分别为 $738\text{ m}^3/\text{d}$ 及 $967\text{ m}^3/\text{d}$, 成井后因洗井关系单井出水量为 $382\text{ m}^3/\text{d}$ 及 $736\text{ m}^3/\text{d}$, 工作结束后, 提交的药王泉地热田勘查报告经甘肃省储委审查通过^[8]。

由于干热岩能将地下水加热后沿断裂上升到地表形成温泉, 故地表温泉的出现是地下干热岩资源存在的直接证据。

2.4 放射性热源条件

庄庆祥等认为埋藏较浅的高温干热岩热储应以地壳岩石核类物质衰变生热为主, 地心与地幔岩浆传导热为辅; 反之则相反^[9]。张翔等认为酸性侵入岩由于具有较高含量的放射性元素 U、Th、K, 因而具有较高的放射性生热率^[3]。酸性岩的放射性生热一方面提高热储的温度, 另一方面其热量补充可减缓岩体冷却的速度^[10]。以资料较为详实的北大坂岩体^[11]为例, 借鉴章邦桐等人的研究计算^[12], 武威北大坂岩体放射性生热为 $63.20 \times 10^{-6}\text{ Jg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ 。因此该岩体的放射性生热应当可为形成干热岩的热源作出较大贡献。武威西营莲花山岩体放射性生热为 $19.97 \times 10^{-6}\text{ Jg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, 天子山岩体放射性生热为 $36.45 \times 10^{-6}\text{ Jg}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, 二者放射性生热对岩体散热的影响相对较小。

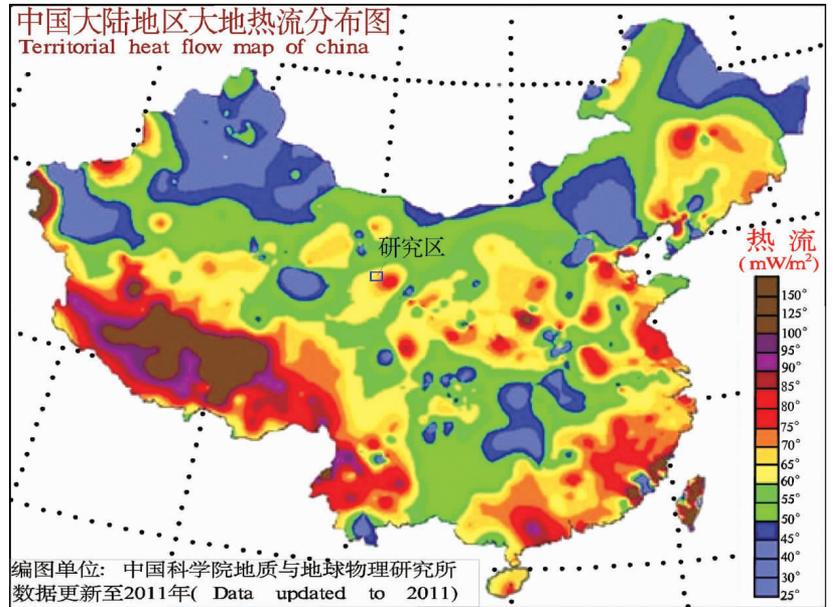


图 2 中国大陆大地热流分布图

(据汪集旻等《中国大陆干热岩地热资源潜力评估》)

Fig. 2 Geothermal flow distribution of Chinese mainland

区内药王泉所在的北大坂花岗岩体, $1:20$ 万武威幅区测资料认为该岩体时代属加里东期 (350 Ma), 另有燕山期的看法, 认为花岗岩体与石炭系、二叠系、三叠系和侏罗系不是沉积盖层接触而是呈侵入接触关系, 在岩体与地层接触处不但可以看到很多大小不等上述地层岩石捕虏体, 在围岩中还可看到硅化、绢云母化及云英岩化等围岩蚀变现象, 在区内侏罗系地层中发现大量热液石英脉与温泉所在花岗岩中的石英脉、长石脉和伟晶岩脉穿插现象一致, 应属中生代以来岩浆活动的产物, 本文认为区内北大坂岩体可能为燕山期的观点。李立新、李百祥^[5]等认为, 处于花岗岩中的武威药王泉温泉, 具有较高的热流背景和 NNE 向导热、导水通道, 氦、氡富集量增高, 表明花岗岩中半衰期长的放射性元素衰变生热是形成干热岩资源的稳态热源。

为了说明武威西营地区干热岩热源机制与北大坂花岗岩的生热有关特性, 我们采用 Rybach (1988) 提出的计算生热率公式, 即: $A = 0.01\rho(9.52\text{ CU} + 2.56\text{ CTh} + 3.48\text{ CK})$ 。

式中: A 为岩石放射性生热率 ($\mu\text{W}/\text{m}^3$); ρ 为岩石密度 (按照 $2.7\text{ g}/\text{cm}^3$ 计算); CU 、 CTh 和 CK 分别为岩石中 U 含量 (10^{-6})、Th (10^{-6}) 和 K 的含量 (10^{-2})。计算得岩体和围岩生热率如表 1。

从上表 1 可以看出, 区内北大坂花岗岩 5 件样品的平均岩石放射性生热率为 $5.06\text{ }\mu\text{W}/\text{m}^3$, 而世界

表 1 区内北大坂花岗岩体中U、Th、K含量及岩石放射性生热率计算表

Table 1 Calculation table of U, Th and K contents and radioactive heat generation rate of Baidaban granite body

样号	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	K/10 ⁻²	A/μW/m ³ (放射性生热率)	样品岩性
1	5.04	29.7	4.91	3.81	粗粒斑状二长花岗岩
2	7.74	51.6	4.52	5.98	
3	5.64	46.6	4.23	5.07	粗中粒二长花岗岩
4	10.2	41.2	4.73	5.91	
5	8.04	28.8	5.01	4.53	中细粒二长花岗岩

测试单位:国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试

花岗岩放射性生热率平均值为 2.50 μW/m³,远远高于世界花岗岩放射性生热率平均值,表明武威市西营地区酸性岩体中放射性元素的衰变生热是干热岩或地热资源的主要稳态热源。

2.5 重力异常条件

位于武威凉州区西北部的西营地区,重力梯级带对应的北祁连山地域,虽有相对较高的海拔高程和地形对应的山形异常,却无相应的山根存在,类似于喜马拉雅山,均衡重力异常值较大,是均衡补偿不足或均衡失调的地带,是地震易发区域。而地震和温泉具有一定孪生性,温泉密集分布带也是地震频繁发生地带,故均衡补偿不足地区,也是形成干热岩资源的有利地区。根据区内重磁场特征平面图,经解译,评估区南部有一条 NW—SE 向断裂带,同时在评估区南部有门源深大断裂带,评估区东南部有一条 NE—SW 向断裂带^[7],为区形成干热岩资源提供良好的热通条件见图 3。

另外,根据 CEMP 勘探成果,结合以往剩余重力异常资料的分析、重磁电震联合反演及 CEMP 电性结构特征^[13],证实了武威盆地中部拗陷的存在,称为武威中部拗陷。武威中部拗陷发育厚度较大的白垩系及新生界地层,为干热岩成藏起到聚热保温作用,构成干热岩成藏的良好盖层。

2.6 航磁异常条件

由于磁异常能反映磁性体的埋深、磁性强弱、分布范围、盖层厚度

和基底特征,根据收集的区域内航磁 ΔT 异常等值线图^[14],经解译推断,在研究区南部有 NW—SE 向存在磁异常区,解译为侵入岩体引起。在武威—中宁一线以南为祁连山磁异常区,NWW 向河西走廊—六盘山平稳磁异常带、北祁连串珠状磁异常带和中祁连条带磁异常带呈弧形分布。北部河西走廊—六盘山平稳磁异常带,是出露寒武系香山群、奥陶系车轮沟群被动大陆边缘陆棚海型碎屑岩和碳酸盐岩磁场的反映。而在中部磁异常值增高为 150~300 nT,且呈条带状分布,是北、中祁连元古界基底上一系列

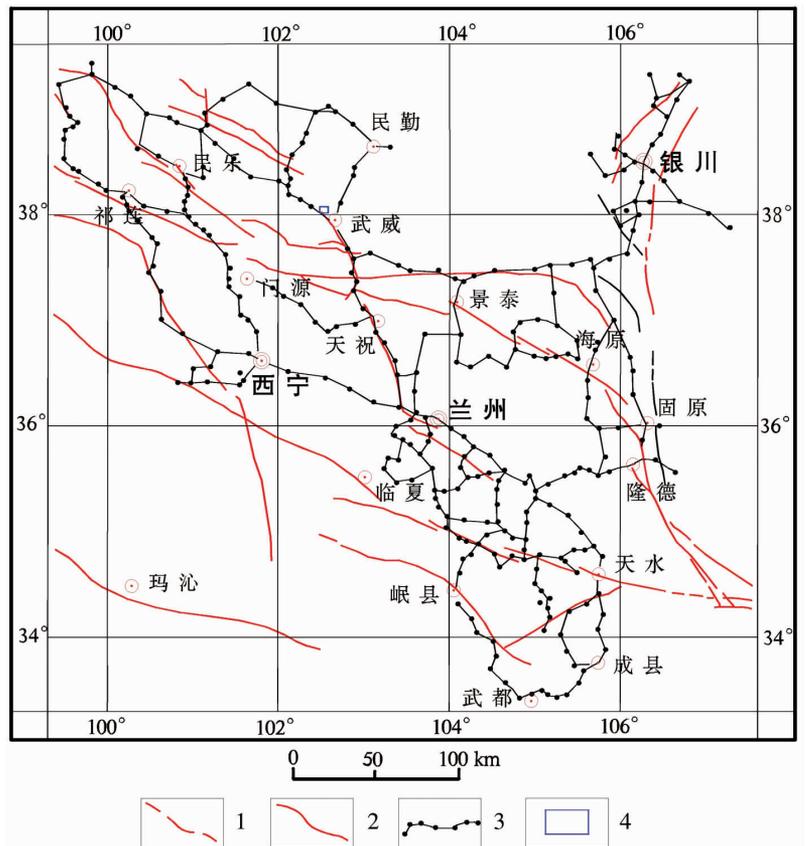


图 3 研究区重磁场特征平面图

Fig. 3 Gravity and magnetic field of the study area
1—推测断层;2—区域深大断裂;3—重磁异常;4—研究区

早古生代裂谷型中基性火山岩、超基性岩和中酸性岩体引起。其南缘东段还存在印支期、燕山期中酸性岩体对应的串珠状正负伴生磁异常,呈 NWW 向分布(图 4)。

综合分析表明,研究区南部的 NW—SE 向磁异常区为中酸性岩体引起,而区内出露的中酸性岩体为干热岩成矿提供了“热源”和“热储”条件。

3 讨论和对比

目前国内品质最高的干热岩为青海省共和盆地的恰卜恰岩体。其地热井 GR1 钻进至 3 705 m 时孔底温度高达 236℃,实现了我国干热岩勘探的新突破。甘肃武威盆地与青海共和盆地地域相邻,大地构造相近,因此在干热岩成藏条件方面具备极大的参考价值。本文从热源、热盖层、热系统、成岩年龄、成因类型等方面对比分析(表 2)。

通过对西营地区酸性岩体进行构造、岩性、年龄、放射性特征等进行分析,对比共和盆地干热岩成藏地质条件,西营地区酸性岩体主要以加里东晚期中酸性复合花岗岩(后期可能有燕山期侵入)为热储,热源主要来自 U、Th、K 放射性元素的衰变生热,西营地区具备一批构造条件与共和恰卜恰岩体相似、放射性元素含量高的干热岩成矿靶区。

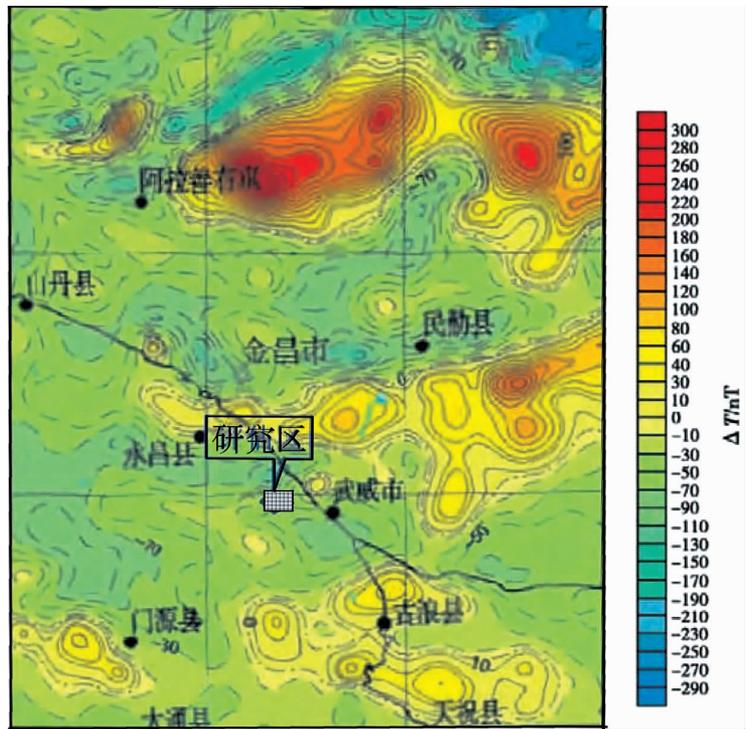


图 4 研究区航磁 ΔT 异常等值线图

Fig. 4 Isogram of aeromagnetic anomaly ΔT in study area

4 结论

(1)综合分析认为,位于武威市凉州区西北部的西营地区,具有大地热流值高、地温梯度大、活动断裂密集和温泉密布的特点,干热岩成矿地质背景与青海共和盆地相似,具备干热岩成藏的基本条件。

表 2 共和地区与西营地区干热岩资源特征对比

Table 2 Characteristics of hot dry rock in Gonghe and Xiying

特 征	共和恰卜恰地区	西营地区
构造特征	共和盆地在构造位置上处于秦岭—昆仑造山带,结合部,与深大断裂相邻且构造活动较为剧烈	武威盆地位于祁连—秦岭结合部位,该处同样具备深大断裂
埋深特征	2 200 m 左右岩体温度达到 150℃;180℃ 以上的干热岩分布在 2 880 ~ 3 100 m 以下	西营地区新生界盖层厚近 1 000 m
岩石特征	岩性主要为二长花岗岩和斑状(黑云母)二长花岗岩,为印支晚期晚三叠世侵入年龄 $224 \pm 2 \sim 227 \pm 2$ Ma	岩性为二长花岗岩和斑状二长花岗岩,为加里东晚期
热源特征	以地壳热中 U、Th、K 的放射性生热为主、地幔传导热为辅的复合型热源	以 U、Th、K 放射性元素衰变生热为主,壳内熔融体导热为辅的高放射性热源
热储特征	印支期花岗岩	加里东晚期花岗岩
盖层特征	新生代砂岩、泥质岩类	白垩纪泥岩、砂岩类
热通特征	NNW 向深切断裂为控热断裂;NNW 断裂、NEE 向断裂及节理和裂隙为主要的导热通道	NE—SW 向断裂为主要的导热通道
成因类型	沉积盆地型	高热流酸性岩体型

(2)西营地区内存在高放射性酸性岩体,取样分析发现,酸性岩体中半衰期长、含量高的放射性元素的衰变生热是该区干热岩资源的稳态热源;NE-SW向断裂带构成干热岩资源的热通条件;侏罗系、白垩系泥岩、砂砾岩等对干热岩成藏起到聚热保温的作用,构成干热岩成藏的良好盖层。本文认为,西营地区存在高热流酸性岩体型干热岩资源,是甘肃省找寻干热岩资源的首选靶区。

(3)西营地区是甘肃省最有利的干热岩找矿靶区,建议在该区开展干热岩成矿地质背景专项调查项目,为后续干热岩资源的开发利用提供基础地质方面的支撑。进而拉开甘肃省干热岩资源开发利用的序幕。

参 考 文 献

- [1] 马峰,王贵玲. 全国圈定四种类型干热岩靶区[N]. 中国地质调查成果快讯,2016,10:2
- [2] 冉恒谦,冯起赠. 我国干热岩勘查的有关技术问题[J]. 探矿工程,2010,37(10):17-21
- [3] 张翔,刘子锐,杨涛,等. 甘肃省干热岩形成机理与前景[J]. 甘肃地质,2018,27(3-4)
- [4] 陈云杰,杨昆,武彬,等. 甘肃省北祁连地区北大坂岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 华理工大学学报,2019,42(2):108-115
- [5] 李立新,李百祥. 武威西营药王泉地热田地质特征和热源形成机制探讨[J]. 甘肃地质,2016,25(1)
- [6] 夏林圻,夏祖春,任有祥,等. 祁连山及邻区火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社,1998:10-54
- [7] 汪玮玮,冯永林,刘海龙. 甘肃省武威市凉州区西北部干热岩资源分布与潜力评估[J]. 工程建设与设计,2018,15
- [8] 曹兴山,赫明林,曹炳媛. 武威药王泉地热田水文地质条件及水化学特征[J]. 甘肃地质学报,2001,10(1):75-82
- [9] 孙知新,李百祥,王志林. 青海共和盆地存在干热岩可能性探讨[J]. 水文地质工程地质,2011,38(2).
- [10] 上官拴通,齐晓飞. 河北省柏乡县干热岩地热资源前景分析[J]. 中国煤炭地质,2016,28(10)
- [11] 黄增保,李葆华,等. 北祁连山中段北大坂岩体成因及构造环境讨论[J]. 矿物岩石,2010,(30):62-68
- [12] 章邦桐,吴俊奇,等. U-Th-K 放射成因对花岗岩岩冷却—结晶过程影响的计算及地质意义[J]. 中国科学,2007(2):155-159
- [13] 李绪善,李百祥. 从重磁场特征探讨南北构造带北段与地震带的统一性[J]. 物探与化探,2012(36):762
- [14] 胡加山,隋志强,刘成斋. 东营凹陷南部重力异常地质成因[J]. 油气地质与采收率,2009,16(2):39-42

DISCUSSION ON THE POSSIBILITY OF HIGH QUALITY DRY HOT ROCK RESOURCES IN XIYING AREA OF WUWEI DISTRICT, GANSU PROVINCE

LU You-peng, WANG Yu-xi, MA Tao, BAO Guo-zhi, LI Teng-fei, YANG Chun-xia
(The Third Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The research area is located in the northwest of Liangzhou District, Gansu Province, where the intermediate-acid rock body is well developed, the active faults are concentrated, the hot springs are distributed, the temperature of geothermal drilling is high, the temperature at the bottom of 80. 23 m borehole is 59°C, and the geothermal gradient is 8. 5°C/100 M, the results show that there is a NW-SE magnetic anomaly in the southern part of the study area, which is 2 ~ 3 times of the normal geothermal gradient, and the geothermal temperature increases with the increase of depth, it is inferred that the aeromagnetic Δt anomaly in the area is caused by the concealed granite body, and based on the analysis of rock radioactivity, the large-scale Baidaban granite body in the area contains radioactive elements such as uranium (U), thorium (Th), potassium (k) with long half-life and high content, etc., the stable heat source that forms the reservoir of the dry-hot Rock; the Jurassic, Cretaceous Mudstone, glutenite and so on play the role of heat accumulation and heat preservation for the formation of the dry-hot rock reservoir and constitute a good cover for the formation of the dry-hot rock reservoir, there are high-quality and high-potential dry hot ROCK RESOURCES OF HIGH-HEAT-FLOW ACIDIC ROCK body in Xiying area of Wuwei city, which is the first target area for seeking dry hot rock resources in Gansu Province, the development and utilization of the dry-hot rocks in Gansu Province were opened up.

Key words: Xiying area; dry hot rock; heat flow value; magnetic anomaly; granite; radioactive heat source