



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.04.019

雷玉德, 童珏, 杨占梅, 等. 青海省干热岩资源类型及典型地热模式[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 117-122. LEI Yude, TONG Jue, YANG Zhanmei, et al. Research on the resource types and typical geothermal models of hot dry rock resources of Qinghai[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 117-122. (in Chinese)

青海省干热岩资源类型及典型地热模式

雷玉德^{1,2}, 童珏^{1,2}, 杨占梅^{1,2}, 杨绍康^{1,2}, 刘毅^{1,2}, 李小林²

(1. 青海省环境地质重点实验室, 西宁 810007; 2. 青海省环境地质勘查局, 西宁 810007)

摘要: 新生代以来, 受印度板块与欧亚板块的碰撞挤压作用, 青藏高原发生强烈的隆升, 青海省地质构造发生巨大变化。在这一特殊的地质作用下, 印支—燕山期以来岩浆岩广泛分布于全省, 并造就了晚近期活动构造的展布变化及青海省特有的地热地质条件。本文根据国内外已发现干热岩资源类型成因模式分析, 结合青海省地热地质背景、干热岩资源类型、分布规律等, 简要分析了不同类型干热岩资源特征, 重点分析讨论强烈构造活动带型和沉积盆地型干热岩资源, 并在此基础上研究不同类型干热岩资源地热模式, 比较不同干热岩资源形成机制之间的差异, 为进一步勘查、开发青海省干热岩资源提供依据。

关键词: 青藏高原隆升; 地热资源; 干热岩; 地热模式

中图分类号: P314 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0117-06

Research on the resource types and typical geothermal models of hot dry rock resources of Qinghai

LEI Yude^{1,2}, TONG Jue^{1,2}, YANG Zhanmei^{1,2}, YANG Shaokang^{1,2}, LIU Yi^{1,2}, LI Xiaolin²

(1. Key Lab of Geo-Environment Qinghai Province, Xining 810007, China

2. Environmental Geological Prospecting Bureau of Qinghai Province, Xining 810007, China)

Abstract: Since the Cenozoic, affected by the collision and compression of the Indian plate and Eurasian plate, The Tibetan Plateau occurred a strong uplift, and the geological structures of Qinghai changed dramatically. In this special geological, magmatic rocks are widely distributed in the province since the Indos-Yanshanian, and created a pull distribution structure change activity and Qinghai unique geothermal geological conditions since Pull Recent. In this paper, according to the type of geothermal model on HDR resources which has been found at home and abroad, combining geothermal geological background, HDR resource types, distributions and etc, conducted a brief analysis on the different types of HDR resources feature of Qinghai. The discussion focused on the intraplate active tectonic zone type HDR resources and the sedimentary basin type HDR resources. On this basis, research on different geothermal models of HDR resources. The genetic mechanisms of different types of HDR resources are analyzed and compared. Provide the basis for further exploration and development of HDR resources in Qinghai.

Key words: Qinghai Tibet Plateau up lifting; geothermal resources; HDR resources; geothermal model

随着全球社会经济的快速发展, 常规油气资源不断被消耗, 由此产生的能源紧缺和环境问题日趋

严峻。地热资源是一种清洁、可再生的能源, 相比于其他能源具有零排放、持续性好等显著优势^[1]。地

收稿日期: 2016-08-21 修回日期: 2017-04-23 网络出版时间:
网络出版地址:

基金项目: 青海省科学技术厅基础研究计划项目(2016-ZJ-769); 高新技术研究与发展计划项目(2014-GX-207); 重点实验室发展专项(2014-ZY18); 青海省地质调查局地质勘查基金项目(青地调勘[2016]81号)

Funds: Supported by Basic Research Program of Qinghai Province(2016-ZJ-769), High Technology Research and Development Program of Qinghai Province(2014-GX-207), Key Laboratories Development Program(2014-ZY18) and Qinghai Geological Survey Geological Prospecting Funds(2016-81)

作者简介: 雷玉德(1988-), 男, 青海互助人, 工程师, 主要从事水工环地质、地热地质方面研究。E-mail: leiyude880902@126.com

热资源主要分为水热型和干热岩型, 目前全球仍以水热型地热资源的开发利用为主^[1]。干热岩型地热资源是指普遍埋藏于距地表 3~10 km 的深处、内部不存在流体或仅有少量地下流体的高温岩体, 其温度通常在 150~650 °C 之间。30 多年来西方国家投入巨资研究干热岩, 其中主要以美国、英国、法国、德国、瑞士、日本、澳大利亚等国家为代表。我国大陆 3 500~7 500 m 深度之间、温度介于 150 °C 到 250 °C 的干热岩储量巨大, 约为 6.3×10^6 EJ, 相当于 2010 年我国能源消费总量 (32.5 亿 t 标准煤) 的 1 320 倍^[2]。干热岩资源作为地热资源的重要组成部分, 势必将引领未来中高温地热资源开发利用方向。青海省赋存有丰富多样的地热资源, 除广泛分布的水热型地热资源外, 干热岩型地热资源以共和恰卜恰地区和贵德扎仓沟地区最具代表性。近年来, 相关单位开展了诸多干热岩资源勘查开发利用研究工作, 但青海省干热岩资源地热模式研究鲜见报道。综上, 开发利用干热岩资源对青海省经济社会可持续发展、三江源保护及生态文明建设具有重要战略意义, 进行干热岩资源地热模式研究也更为必要。

1 干热岩形成的地质背景

作为青藏高原的重要组成部分, 青海省处于全球地质构造最复杂、隆升速度最快、隆起最新的青藏高原北部, 几大构造域在此结合, 构造活动强烈, 应力状态复杂, 地壳结构不均^[4]。全省地质地貌属于青藏高原的一部分, 具有高原山地多、平原盆地少的

特征。海拔普遍在 2 000 m 以上, 从祁连山至昆仑山一带, 受断裂构造的切割, 山地隆起与平原盆地相间分布。昆仑山与唐古拉山之间为 4 000~5 000 m 的高原, 地势呈丘陵状。无论是山地隆起, 还是平原盆地都严格地受断裂构造控制, 这些断裂构造大部分属全新世以来活动构造。

新生代以来地壳收缩抬升, 新构造活动强烈。自 45 Ma BP 前后青藏高原隆升开始, 青海大地构造具有突出的构造旋回特点, 自北向南存在三个一级大地构造单元: 秦祁昆加里东地槽及褶皱系、巴颜喀拉华里西-印支地槽及印支褶皱系、藏北-唐古拉准台地及台缘拗褶带, 且前两个褶皱系是省区的主要构造单元^[4] (图 1)。

新近纪以来开始强烈隆升的青藏高原, 不仅以其独特的地势高度、地貌、地质和自然环境等特征举世无双, 而且还是地球陆内地震活动最为频繁而强烈的地区之一。这是由于印度板块与欧亚板块碰撞挤压下使青藏高原发生强烈的隆升, 从而导致了高原本体和周边地区产生强烈的构造性变和现代活动构造等一系列的地质作用效应的结果。这一变化特征从高原的垂直形变速率^[5]、GPS 观测结果、高原区各山系剖面褶皱隆起形态、南北两个磨拉石剖面隆升阶段对比结果^[6]、高原内大断裂南北倾角变化、岩石圈平面上整体性和垂向上分层性特征^[7]、及高原内数条规模宏大而连续的山体平面和地貌形态特征等方面均有表现^[4], 上述基本事实, 基本反映了青藏高原隆升机制及动力驱动效应的表现形式。

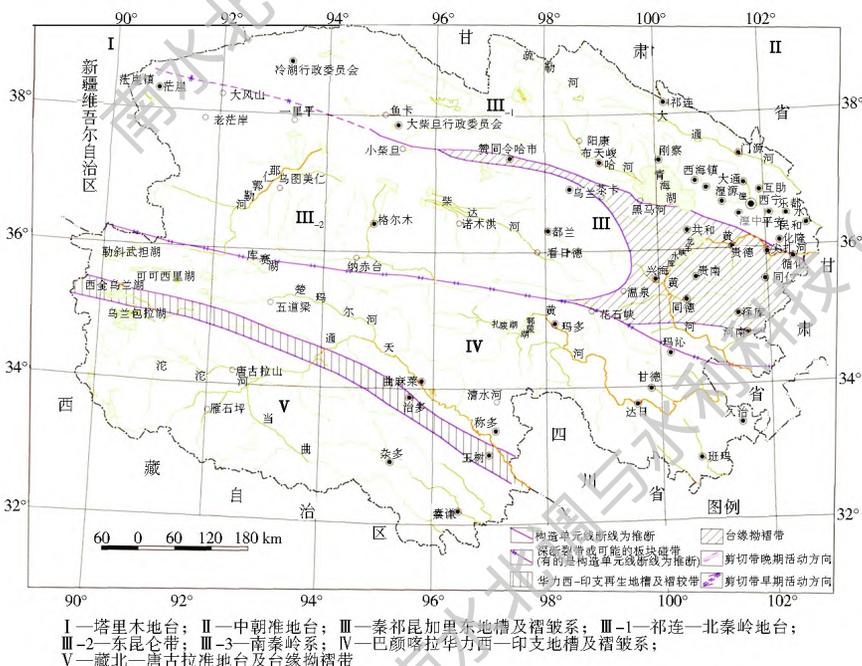


图 1 青海省大地构造略图

Fig. 1 Tectonic sketch of Qinghai province

高原隆升过程中强烈的挤压在造就了一系列褶皱和断裂构造的同时,也使区内活动强烈断裂密集分布^[8]。欧亚板块与印度板块于新生代碰撞形成的喜马拉雅造山带,这也是我国大陆高温水热和干热岩系统主要分布区域,而在板块内部地壳隆起区和沉降区分别形成了隆起断裂型及沉降盆地型中低温地热资源^[9]。青海东部的中生代断陷盆地中,贵德盆地和共和盆地基底由中生界三叠系地层及印支期花岗岩组成,西宁盆地基底由古生界、元古界变质岩及加里东期花岗岩组成,中生界堆积物巨厚^[10],这为地下热水和干热岩提供了良好的形成和赋存条件。

2 不同干热岩资源特征

按照地热地质条件,结合全省地质构造格局,全省干热岩资源大致可分为近代火山型、强烈构造活动带型和沉积盆地型^[11],本文重点讨论强烈构造活动带型和沉积盆地型干热岩资源。

2.1 近代火山型干热岩资源

近代火山型干热岩资源是指受新生代以来火山活动影响,底部有未冷却熔融岩浆,发育岩墙、岩株、岩床、岩盘等,地表也有明显的水热活动,且浅层就能获取较高温度。青海省此类干热岩资源主要分布于青藏高原腹地的可可西里地区。据已有资料^[12],大陆火山活动于新生代以来曾广泛发生,通过对目前取得的22组火山岩样品进行同位素分析,显示该区火山活动的高峰期发生于中新世^[13]。受新近纪火山活动或现代幔源岩浆侵入的影响,深部地热流体得以释放,因而在可可西里地区赋存有典型的近代火山型干热岩资源,但目前尚未进行过系统研究分析。通过分析热源或气体组分的物质来源与近代火山喷发活动或现代岩浆侵入活动的关系,对研究这一类型干热岩资源有重要指示意义。通常采取气体He样品^[14],分析³He与⁴He的比值来判断是否属于火山区地热流体活动^[15]。国外已有针对该类型干热岩研究中,美国Fenton Hill干热岩研究中心最早开展过相关研究,该中心在200℃的花岗岩上通过流水循环试验激励形成一系列人工裂隙,利用加压后的常温水回灌及回收并抽取超临界热水,提高了回收率,同时也证实了干热岩利用的可行性。

2.2 强烈构造活动带型干热岩资源

强烈构造活动带型干热岩资源是指受欧亚板块和印度洋板块挤压作用,新生代以来青藏高原多次

隆升,局部地区发生岩浆底侵^[16],深部高温热源通过深大断裂对流传热到浅部的一类干热岩资源。高原隆升不仅造就了全省地质构造格局的巨大变化,同时为此类干热岩资源形成提供了条件良好。随着青藏高原地质应力的不断变化,发育了一系列北西、北北西走向的走滑断裂及近南北向的张性、张扭性活动断裂,这些活动断裂带内发生了强烈的现代地热活动,其中最具代表性的属错那、古堆、日多、沃卡等诸多中——高温地热显示区。青海省境内则以瓦里贡山断裂带内的贵德扎仓沟地热田最为典型。

青藏高原由南向北递进式隆升并向东滑移挤出过程中,古共和拉分盆地形成,同时也造就了一系列NNW向展布的断裂构造(见图2),这些断裂构造多为张性-压扭性深大控热断裂,断裂活动时间长,通过深大断裂对流传热,使得近期火山活动产生的热量和岩浆侵入活动余热得以传向地表,为区内地热资源形成提供了良好的通道。扎仓沟地热区地处西秦岭地块与祁连地块缝合边界南侧,处于共和古湖盆东部边界带,出露地层以中三叠统(T₂)砂板岩和燕山期花岗闪长岩(γ&ξ)为主,花岗闪长岩裂隙及构造破碎带为构造含水热储系统,其顶部被新近系砂岩、泥岩覆盖构成隔温盖层,NNW向断裂称热光断裂(F₁)为压扭性隔水断层,近东西向断裂称扎仓断层,为张扭性导水断层。大气降水通过近东西向张裂带入渗后,在深部1000~1500m处受热光热源加热,流经扎仓断层遇热光断裂下盘泥岩阻隔,出露地表形成扎仓沟温泉,其热储概念模型见图3^[17]。

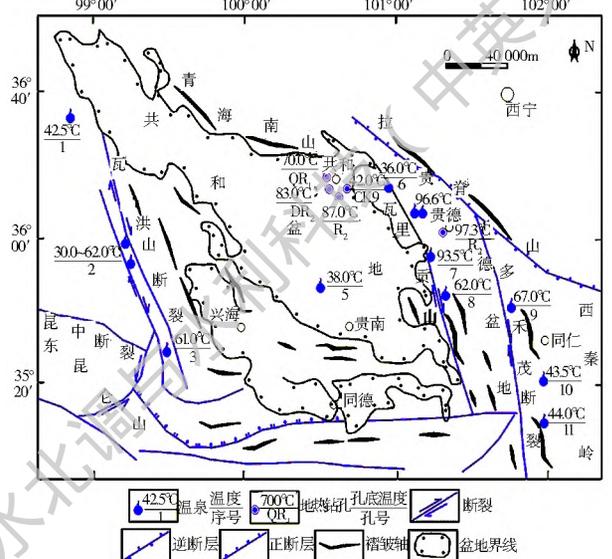


图2 区域地热地质条件

Fig. 2 Map of region geothermal geology conditions

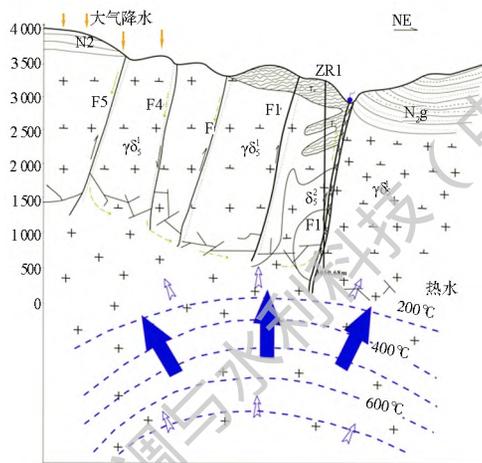


图 3 扎仓沟热储概念模型

Fig. 3 Geothermal reservoir conceptual model and stress analysis of the Zhacang Ditch

通过分析区域热异常遥感、区域地形与重力、区域磁航、MT 探测、可控源电磁测深和音频大地电磁测深等资料,显示扎仓沟地区发育呈 NNW 向展布的区域深大断裂,属高热异常区,其与东西向断裂带交汇,说明沿 NNE 向存在一条巨大的热源通道,重力显示该断裂深达软流层,区内侵入岩分布特征可以证实^[17](图 4)。2013 年干热岩勘查工作中,青海省环境地质勘查局在贵德扎仓沟实施的干热岩钻孔,在 3 050.68 m 深度探获地温为 151.34 °C 的干热岩资源。

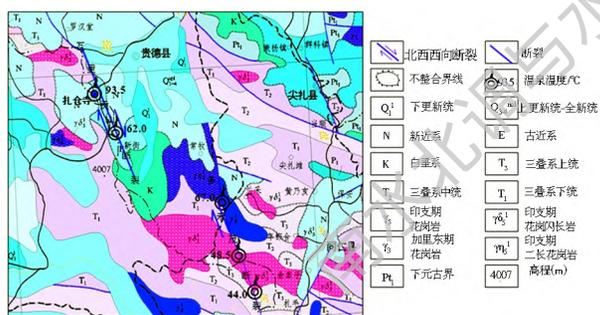


图 4 区域地质构造略图

Fig. 4 Schematic view of regional geological structure

2.3 沉积盆地型干热岩资源

沉积盆地型干热岩资源是指深部热源通过对流、传导到达浅部,并受浅部热导率小的沉积覆盖层阻隔,形成的基岩覆盖层厚、表层地温梯度大及增温稳定的一类干热岩资源,文中主要以共和-贵德盆地为代表论述。共和-贵德盆地处于昆仑-秦岭纬向构造带与河西系构造复合部位,为“秦昆岔口”的新生代断陷盆地,四周被断褶带隆起山地围限,中间被瓦里贡山构造岩浆岩隆起带分隔为共和、贵德两盆地。该盆地具有良好的沉积盆地传导型地热地质背景,其东、西两侧分布有构造岩浆带断裂型地热^[18],中

高温热水、干热岩主要分布在秦昆结合部造山带地区。

2007 年由青海省环境地质勘查局在共和盆地施工完成了 R₁ 钻孔(1 203 m, 孔底温度 83 °C)和 QR₁ 钻孔(969 m, 孔底温度 70 °C),计算得到地温梯度高达 6~7 °C/100 m,推测 3 000 m 温度可达 200 °C,并在 QR₁ 孔底见 36 m 花岗岩^[19]。根据以往地质、地球物理、石油地震和重力资料综合分析推断基底斜坡界面对应重力低异常,可认为重力低异常是花岗岩引起,作为盆地热源可能存在干热岩。

2013 年-2014 年,青海省国土资源厅组织实施共和盆地干热岩勘查,实施的两眼干热岩勘探孔在 1 300~1 400 m 深度内均揭露到花岗岩基底,揭露厚度达 2 000 m 以上,3 000 m 温度达 180 °C 以上(图 5),地温梯度 6.1~6.7 °C/100 m,岩体温度普遍高,增温梯度异常明显,表明恰卜恰地区有干热岩分布,初步圈定干热岩面积约 790 km²^[20]。

2000 年-2012 年先后在贵德盆地开展了高温热水及干热岩勘探工作,孔深在 1 000 m 至 2 700 m 不等,测得井底温度在 71 °C~107 °C 左右,古近系热储埋深 1 450 m,以深为花岗岩体,部分地段发育破碎带,深部热储有热无水,据地球物理勘探资料显示深部有赋存干热岩资源的可能^[21]。

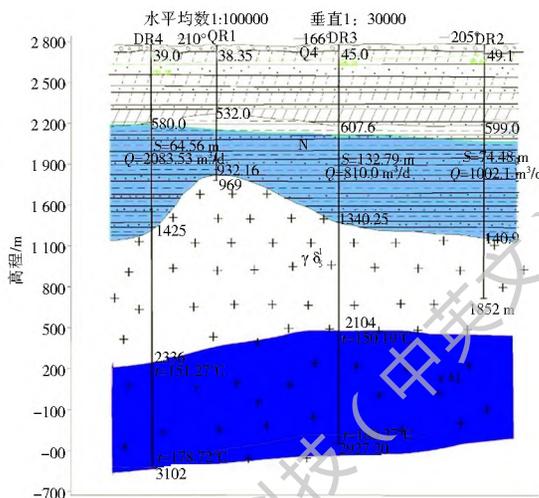


图 5 共和盆地干热岩

Fig. 5 Hot dry rock geological profile in Gonghe Basin

3 典型干热岩类型地热模式

笔者简述了不同干热岩类型的地热模式,在此主要对强烈构造活动带型和沉积盆地型干热岩资源作论述。

3.1 强烈构造活动带型干热岩资源地热模式

青藏高原隆升过程引发青海省地质构造变化,对青海构造产生强烈影响,并影响着印支-燕山期以

来岩浆岩分布,及晚近期活动构造的展布,造就了青海省特有的地热地质条件。这些断裂多为张性压扭性深大控热断裂,断裂活动时间长,能将近期火山活动产生的热量、岩浆侵入活动产生的余热传向地表,为区内地热资源形成提供了良好的通道。此类干热岩资源热源为高温熔融体,热储为花岗岩,深大活动断裂为通道,盖层厚度较小,主要以隔水隔热的三叠系砂板岩或新近系泥岩为主,其地热模式见图6。

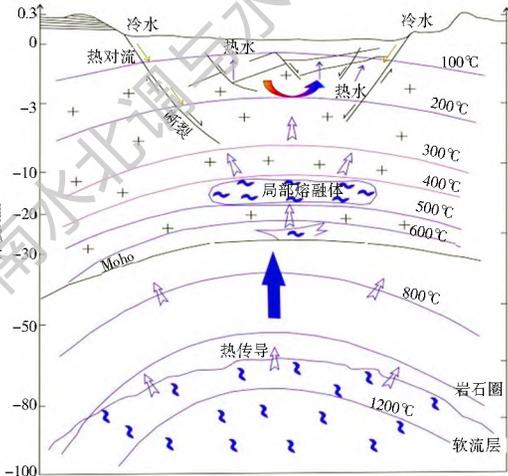


图6 强烈构造活动带干热岩资源地热模式

Fig. 6 Geothermal model of HDR resource of intraplate active tectonic zone

3.2 沉积盆地型干热岩资源地热模式

晚近期以来受强烈构造活动控制,山体隆升,形成新生代断陷盆地,造就了共和-贵德盆地良好的地热地质背景环境,也沉积了较厚的冲洪积、河湖相及湖相堆积物,为沉积盆地传导型干热岩资源形成提供了条件。借助于隐伏断裂对流、传导作用,深部热源得以向浅部传导,同时受制于上覆沉积覆盖层阻隔,热量损耗明显较少,干热岩岩体为印支期花岗岩。此类型干热岩资源热源为高温熔融体热储为完整岩体与裂隙较发育岩体互层,部分地段还有断裂带分布,巨厚的冲洪积、河湖相、湖相堆积物及花岗岩均可作为热储层,隐伏断裂提供通道,热量以对流、传导形式上传,具备良好的盖层条件,其地热模式见图7。

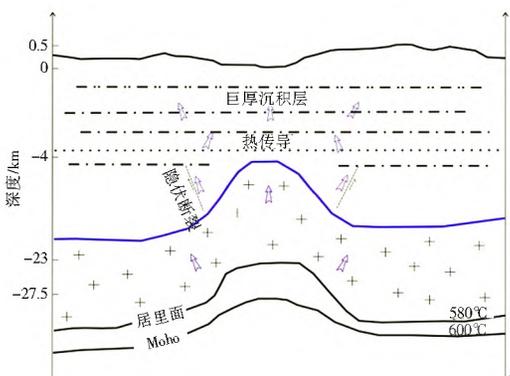


图7 沉积盆地型干热岩资源成因模式

Fig. 7 Geothermal model of the sedimentary basin type of HDR resources

3.3 不同地热模式对比分析

对比青海省两类主要干热岩资源地热模式,发现两种干热岩资源均在中深部地层中赋存有高温熔融体,并由此提供热源向浅部传热,青藏高原隆升引发青海省地质构造格局变化,进而对构造产生强烈影响,以此形成的深大断裂作为导热通道,均属高温地热资源。不同之处在于强烈构造活动带型干热岩资源主要受控于板块间构造活动影响下的减压熔融^[16],深大断裂影响较为明显,且为主要驱动力;而沉积盆地型干热岩资源储热方式明显不同,良好的盖层优势有效地防止了热量散失,形成了浅部热储较高的地温梯度和明显的热异常,同时具有基岩覆盖层厚及增温稳定等特点。因此,两种干热岩类型具有“同源、似储”,但前者热源通道贡献较大,后者盖层作用尤为显著。

4 结论

(1) 青藏高原隆升过程引发青海省地质构造变化,对青海构造产生强烈影响,并影响着印支-燕山期以来岩浆岩分布,及晚近期活动构造的展布,造就了青海省特有的地热地质条件和潜力巨大的干热岩资源;

(2) 通过对比分析国内已有干热岩资源类型,提出青海省干热岩资源类型主要有近代火山型、强烈构造活动带型和沉积盆地型,不同类型干热岩资源具有各异的地热地质条件特征;

(3) 针对已有干热岩资源地热模式,深入分析研究了强烈构造活动带型和沉积盆地型干热岩资源地热模式,指出前者主要以深大断裂为主要驱动力,后者则得利于良好的盖层条件。

参考文献(References):

- [1] 汪集旻,胡圣标,庞忠和,等.中国大陆干热岩地热资源潜力评估[J].科技导报,2012,30(32):25-31.(WANG Jiyang, HU Shengbiao, PANG Zhonghe, et al. Estimate of geothermal resources potential for hot dry rock in the continental area of China[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(32): 25-31. (in Chinese)) DOI 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.32.003
- [2] 汪集旻.中低温对流型地热系统[M].北京:科学出版社,1993: F240.(WANG Jiyang. Low-medium temperature geothermal system of convective type[M]. Beijing: Science Press, 1993: F240. (in Chinese))
- [3] 许天福,张延军,曾昭发,等.增强型地热系统(干热岩)开发技术进展[J].科技导报,2012,30(32):42-45.(XU Tianfu, ZHANG Yanjun, ZENG Zhao fa, et al. Technology Progress in an enhanced geothermal system(Hot Dry Rock)[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(32): 42-45. (in Chinese))

DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.32.005

- [4] 李小林, 龙作元, 高忠咏, 等. 青海地质环境——青藏高原隆升与青海水文地质工程地质环境地质工作[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 47-64. (LI Xiaolin, LONG Zuoyuan, GAO Zhongyong, et al. Geology environment of Qinghai—uplift of the Qinghai Xizang (Tibetan) Plateau and hydrogeology, engineering geology and environment geology works of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Press, 2009: 47-64. (in Chinese))
- [5] 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣. 青藏高原新生代构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 32-70. (PAN Guitang, WANG Peisheng, XU Yaorong. Cenozoic tectonic evolution of Qinghai Xizang Plateau[M]. Beijing: Geological Press, 1990, 32-70. (in Chinese))
- [6] 李孝泽, 董光荣, 陈惠中, 等. 从青藏高原南北两个磨拉石剖面的对比看青藏高原的隆升过程[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 354-360. (LI Xiaozhe, DONG Guangrong, CHEN Hui zhong, et al. Uplift processes of the Qinghai Tibet Plateau interpreted from the comparison of Yecheng Section and Si walik Group [J]. Journal of Desert Research, 2001, 21(4): 354-360. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1000-694X.2001.04.007
- [7] 滕吉文, 张中杰, 胡家富. 青藏高原整体隆升与地壳缩短增厚的物理-力学机制研究[J]. 高校地质学报, 1996, 2(2): 121-133. (TENG Jiwen, ZHANG Zhongjie, HU Jiafu. Physical-mechanical mechanism for the whole uplifting of the Qinghai Xizang plateau and the lateral shortening and vertical thickening of the crust[J]. Geological Journal of Universities, 1996, 2(2): 121-133. (in Chinese)) DOI: 10.16108/j.issn1006-7493.1996.02.001
- [8] 周保, 彭建兵, 张骏. 青海省活动断裂带分布发育特征研究[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 612-618. (ZHOU Bao, PENG Jianbing, ZHANG Jun. Development and distribution patterns of active fault zones in Qinghai Province[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(5): 612-618. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1004-9665.2009.05.005
- [9] 赵振, 罗银飞, 孟梦, 等. 青海省地热资源概况及勘查开发利用部署初步研究[J]. 青海环境, 2013, 23(3): 130-135. (ZHAO Zhen, LUO Yirfei, MENG Meng, et al. A survey of geothermal resources and preliminary study of exploration development and utilization of deployment in Qinghai Province[J]. Qinghai Environment, 2013, 23(3): 130-135. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-2454.2013.03.006
- [10] 青海省区域地质志. 青海省地质矿产局[M]. 北京: 地质出版社, 1991. (Qinghai Regional Geology Annals. Qinghai Geology Minerals Bureau[M]. Beijing: Geological Press, 1991. (in Chinese))
- [11] 郎旭娟, 刘峰, 刘志明, 等. 青海省贵德盆地大地热流研究[J]. 地质科技情报, 2016, 35(3): 227-232. (LANG Xujuan, LIU Feng, LIU Zhiming, et al. Terrestrial heat flow in Guide basin, Qinghai[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(3): 227-232. (in Chinese)) DOI: 1000-7849(2016)03-0227-06
- [12] 李炳元, 潘保田, 高红山. 可可西里东部地区的夷平面与火山年代[J]. 第四纪研究, 2002, 22(5): 397-405. (LI Bingyuan, PAN Baotian, GAO Hongshan. A planation surface and ages of volcanic rocks in eastern Hohxil, Qinghai Tibetan Plateau [J]. Quaternary Sciences, 2002, 22(5): 397-405. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1000-7410.2002.05.001
- [13] 孙延贵. 可可西里北缘中新世火山活动带的基本特征[J]. 青海地质, 1992(2): 40-47. (SUN Yangui. The basic characteristic of Miocene volcano mobile belt on the northern margin of Hohxil[J]. Qinghai Geology, 1992(2): 40-47. (in Chinese))
- [14] 上官志冠, 郑雅琴, 董继川. 长白山天池火山地热区溢出气体的物质来源[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(4): 318-324. (SHANGGUAN Zhi guan, ZHENG Yaqin, DONG Jichuan. Sources of gas spilled material of Tianchi volcanic geothermal area[J]. Scientia Sinica(Series D), 1997, 27(4): 318-324. (in Chinese))
- [15] Allard P, Jear Baptiste P, D' Alessandro W, et al. Mantle derived helium and carbon in groundwater and gases of Mount Etna, Italy[J]. Earth Planet Sci Lett, 1997, 148(3-4): 501-516.
- [16] 甘浩男, 王贵玲, 蔺文静, 等. 中国干热岩资源主要赋存类型与成因模式[J]. 科技导报, 2015, 33(19): 22-27. (GAN Haonan, WANG Guiling, LIN Wenjing, et al. Research on the occurrence types and genetic models of hot dry rock resources in China[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(19): 22-27. (in Chinese))
- [17] 李小林, 吴国禄, 雷玉德, 等. 青海省贵德扎仓寺地热成因机理及开发利用建议[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2016, 46(1): 220-229. (LI Xiaolin, WU Guolu, LEI Yude, et al. Suggestions for Geothermal Genetic Mechanism and Exploitation of Zhacang Temple Geothermal Energy in Guide County, Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(1): 220-229. (in Chinese)) DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.201601206
- [18] 薛建球, 甘斌. 青海共和贵德盆地增强型地热系统(干热岩)地质-地球物理特征[J]. 物探与化探, 2013, 37(1): 35-41. (XUE Jianqiu, GAN Bin. The geophysical characteristics of enhanced geothermal systems(hot dry rock) in Gonghe Guide basin of Qinghai Province. [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, In February, 2013, 37(1): 35-41. (in Chinese))
- [19] 李小林, 吴国禄, 冯林传, 等. 青海省共和盆地恰不恰地下水热勘查报告[R]. 西宁. 2010. (LI Xiaolin, WU Guolu, FENG Linchuan, et al. Underground hot water investigation report of Qiabiqia Gonghe basin in Qinghai Province[R]. Xining. 2010. (in Chinese))
- [20] 严维德. 共和盆地干热岩特征及利用前景[J]. 科技导报, 2015, 33(19): 54-57. (YAN Weide. Characteristics of Gonghe Basin hot dry rock and its utilization prospects[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(19): 54-57. (in Chinese))
- [21] 汤洪康, 冯林传, 赵振, 等. 青海省贵德盆地地下水热资源勘查报告[R]. 西宁. 2009. (TANG Hongkang, FENG Linchuan, ZHAO Zhen, et al. Underground hot water resources investigation report of Guide basin in Qinghai Province[R]. Xining. 2009. (in Chinese))