

# 共和盆地干热岩特征及利用前景

严维德<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074

2. 青海省水文地质工程地质环境地质调查院; 青海省水文地质及地热地质重点实验室, 西宁 810008

**摘要** 2011年以来, 国家及青海省政府在青海省海南藏族自治州共和县恰卜恰镇地区相继开展了一批地热资源勘察工作, 发现共和盆地基底由印支期花岗岩组成, 岩体地温梯度异常明显, 最高可达 11.5℃/100 m, 2200 m 左右温度达到 150℃, 3000 m 岩体温度接近 200℃, 预计 4000 m 时温度可达 260℃以上, 表明盆地具有分布广泛、埋深相对浅的干热岩资源。利用此干热岩资源, 不仅填补中国新能源利用的一项空白, 而且对当地人居条件改善、工农业发展具有现实意义。

**关键词** 干热岩; 共和盆地; 工程地热系统; 地温梯度

**中图分类号** TE122.1

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.19.008

## Characteristics of Gonghe Basin hot dry rock and its utilization prospects

YAN Weide<sup>1,2</sup>

1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Hydrogeology and Geothermal Geology of Qinghai Province, Qinghai Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Environmental Geology, Xining 810008, China

**Abstract** The national and local governments have carried out a series of explorations of geothermal resources in the Chapcha (Qia-bu-qia) region, Gonghe County, Hainan Tibetan Autonomous Prefecture in Qinghai Province since 2011. It has been discovered that Gonghe Basin substrate is composed of the indosinian granite with a significantly high geothermal gradient up to 11.5℃/100 m. The temperature reached 150℃ at the level of 2200 m and was close to 200℃ at 3000 m and was estimated to be 260℃ at 4000 m, indicating that the basin has widely distributed hot dry rock in relatively shallow depth. Utilization of such hot dry rock resources will not only fill up the gap in China's new energy utilization, but also improve local residents' living conditions as well as develop local industry and agriculture.

**Keywords** hot dry rock; Gonghe Basin; engineering geothermal system; geothermal gradient

共和盆地位处青海省东中部, 隶属于青海省海南藏族自治州, 南北宽 90 km, 东西长 210 km, 总面积 21186 km<sup>2</sup>。盆地中心地形较为平坦, 海拔 3000 m 左右, 多年平均降水量 299.1 mm, 平均气温 3.7℃<sup>[1]</sup>。盆地水系属黄河水系, 黄河纵贯盆地中部, 切深达 600 m 以上, 年平均流量达 663 m<sup>3</sup>/s。

恰卜恰镇位于共和盆地北缘, 黄河北岸, 距西宁 142 km, 现有人口 4 万余人, 是青海省新能源利用示范城市, 不仅建有

龙羊峡水电站, 还建有大规模的太阳能光伏电站园区, 为国家电网覆盖区。共和—玉树高速公路、西宁—格尔木一级公路均从此通过, 交通十分便利。2011 年以来, 为解决城市供暖, 在恰卜恰地区相继开展了“青海省共和县恰卜恰镇地下热水资源勘察”、“青海省共和县恰卜恰镇中深层地热能勘察”项目, 布置了 DR1、DR2、DR3、DR4 等 4 眼 2000 m 以上深钻孔, 探明盆地基底由印支期花岗岩组成, 上部堆积有第四

收稿日期: 2015-08-21; 修回日期: 2015-09-06

基金项目: 青海省地勘基金项目(青国土地矿(2013)137号)

作者简介: 严维德, 高级工程师, 研究方向为水文地质、地下水勘察、地质灾害勘察防治, 电子信箱: qh.ywd@163.com

引用格式: 严维德. 共和盆地干热岩特征及利用前景[J]. 科技导报, 33(19): 54-57.

纪系(Q)和新近系(N)地层,厚度达1300~1500 m,赋存有丰富的地下热水资源,水温达80~91℃。下部花岗岩岩体总体相对完整,2000 m以下不含地下水,2200 m以深温度达到150℃以上,达到了干热岩要求<sup>[2]</sup>,这也是国内第一次探获的干热岩资源。

干热岩的勘查评价及利用在国内尚属起步和探索阶段,了解共和盆地干热岩资源特点、合理评价其资源,并通过开发利用研究尽快开展能源利用,对当地人居条件改善、工农业发展具有现实意义。

### 1 干热岩特征

#### 1.1 分布特征

依据重力、航磁等物探资料,呈北东向展布,过共和盆

地,分布在温泉—共和—湟源一线的东昆仑与西秦岭分界断裂具有明显的深大断裂特征<sup>[3]</sup>。1:100万青海省布格重力异常图及1:100万青藏高原航磁异常图显示,沿昆秦分界的北东向裂带,布格重力异常等值线密集,呈梯级带<sup>[4]</sup>;剩余布格重力异常图上,断裂带两侧地壳结构差异明显<sup>[5]</sup>;同时,航磁特征清晰,东部为平静磁场区,西部为高磁异常区,位置与布格重力异常梯级带吻合一致。大地电磁测深剖面显示昆秦分界断裂,深部电性结构有明显的特殊性,电阻率断面上呈现一宽度达50 km的低阻带,地壳层中未见有>1000 Ω·m的高阻层<sup>[6]</sup>。说明断裂切割深,利于热流沟通。

宽频地震剖面勘探及接收函数处理结果显示,共和盆地1~10、25~40及60 km附近均有低速层存在,而且,上部1~10 km深处的低速层遍布盆地底部<sup>[7]</sup>(图1)。

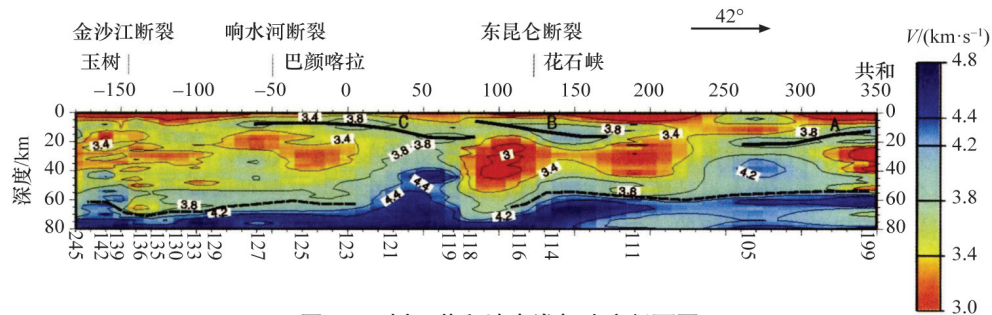


图1 玉树—共和地壳浅部速度剖面图

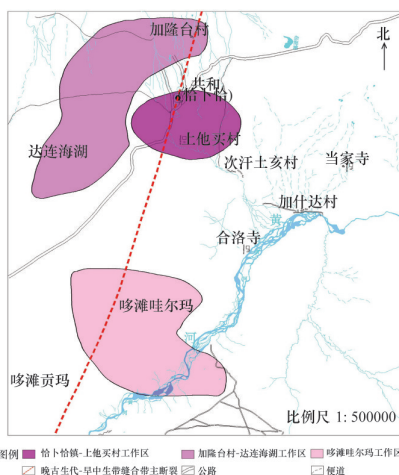
Fig. 1 Yushu-Gonghe Shallow Crustal Velocity Profile

航磁资料还显示:共和盆地基底均由花岗岩组成,尤其在昆秦分界的北东向断裂带两侧的恰卜恰镇—上他买村一带、加隆台村—达连海湖一带、哆滩哇尔玛一带尤为明显。

据地面调查及深孔钻探分析,位处东昆仑与西秦岭结合部西缘的共和盆地及其周边,多处有地下热水出露,水温达60℃以上的泉点有4处。据盆地北部施工的DR1、DR2、DR3、DR4深孔及中部二塔拉勘探孔资料,盆地基底均为花岗岩,且温度随深度增加不断增高,盆地北部2200 m左右岩体温度

达到150℃,3000 m左右温度达180℃以上。可初步认定高温花岗岩的存在与接收函数剖面反映的低速层相一致。

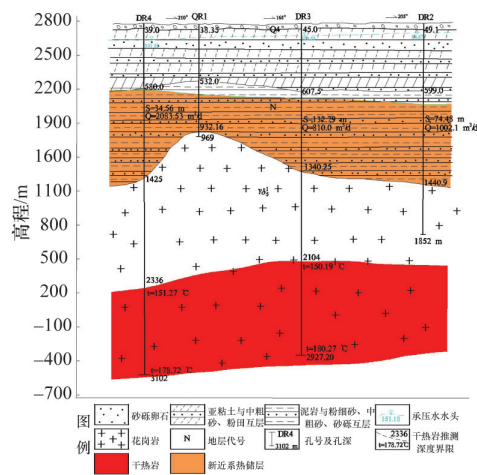
由于昆秦结合部北东向深大断裂的存在,共和盆地底部具有干热岩资源分布,已有资料确定在盆地北部恰卜恰地区呈片分布,初步推断其范围可能遍布全盆地,尤其是在沿断裂带分布的恰卜恰镇—上他买村、加隆台村—达连海湖、哆滩哇尔玛等三块航磁异常区为干热岩分布区的可能性更大,三区总面积达790 km<sup>2</sup>以上(图2、图3)。



据青海省共和县恰卜恰镇中深层地热能勘查,2015

图2 共和盆地干热岩分布

Fig. 2 Hot dry rock distribution profile in Gonghe Basin



据青海省共和县恰卜恰镇中深层地热能勘查,2015

图3 共和盆地干热岩地质剖面

Fig. 3 Hot dry rock geological profile in Gonghe Basin

## 1.2 岩体特征

共和盆地干热岩为印支期花岗岩,已完成的DR3、DR4孔资料显示,盆地中心花岗岩埋深为1300~1500 m不等,从上到下岩性较均一。上部300 m厚岩体较为破碎,呈碎裂状,顶部8 m为强风化层;300 m以下总体相对完整,但受构造影响,部分地段构造裂隙发育,出现完整岩体与裂隙发育岩体互层现象,完整岩体一般厚度44.0~94.8 m,最小厚度17.2 m,岩体内很少有裂隙发育,岩心呈长柱状,隔水、隔汽效果极好;裂隙发育岩体一般厚度29.0~94.3 m,最大厚度134.5 m,裂隙较发育,呈开启状,无充填物,岩心一般为3~13 cm长的短柱状或块状,线裂隙率0.1%~0.3%。部分地段还有断裂带揭露,如2250 m处断裂带,岩体呈角砾状,无充填物,裂隙孔隙连通性好,厚度达34.1 m。其下部影响带裂隙十分发育,厚度也达30 m以上。

## 1.3 温度特征

钻孔物探测温反映,共和盆地地温明显偏高,盆地北部、东部及中部二塔拉一带的钻孔中,上覆第四系、新近系地温及其中的地下水水温均较高。盆地北部恰卜恰镇一带,1400 m以浅地下水水温达80℃以上,有的地段高达90℃以上,成为中温热水。在接近基底的1400 m左右岩体温度可达100℃。

组成基底的花岗岩,平均地温梯度为(6.7~6.8)℃/100 m,但施工时不同深度段的梯度差异明显,据DR3孔初始测温资料,在花岗岩与泥岩接触带,由于盖层影响,梯度值高达13.7℃/100 m,岩体内部的梯度值变化与岩体完整程度有关,大厚度完整岩体地温梯度相对较小,梯度值在3.9℃/100 m左右,裂隙发育岩体的地温梯度值较高,往往大于6℃/100 m,尤其是断裂带内的梯度值最高可达14℃/100 m(表1)。

表1 DR3钻孔地温梯度特征一览表  
Table 1 Geothermal gradients for DR3

深度区间/m	岩体特征	地温梯度/(0.01℃·m <sup>-1</sup> )
1300~1400	泥岩与花岗岩接触带	13.7
1400~1500	花岗岩裂隙带	6.9
1830~1930	完整花岗岩	3.2
2214~2248	断裂带	14.0

## 1.4 热源特征

据1:20万区域地质调查,共和盆地周边出露的印支期花岗岩没有放射性异常区存在,通过对DR3孔不同深度的花岗岩岩样测试,其内铀质量分数为 $1.9 \times 10^{-6} \sim 5.9 \times 10^{-6}$  μg/g,钍质量分数为 $6.6 \times 10^{-6} \sim 9.8 \times 10^{-6}$  μg/g,钾质量分数为 $1.4 \times 10^{-2} \% \sim 1.6 \times 10^{-2} \%$ ,总照射亮率DR为64.2 nGy·h<sup>-1</sup>,与背景值相近,表明热源并非来自岩体的放射性。DR3、DR4孔温度曲线(图4)反映,温度与深度具有线性关系,表明共和盆地地热为传导型地热,其热源可能与深部高温体有关<sup>[8]</sup>。

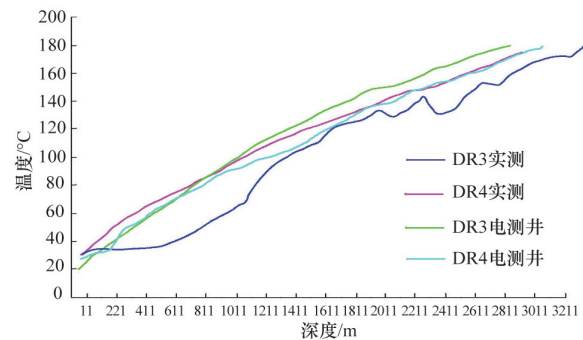


图4 DR3、DR4孔深度与温度曲线图

Fig. 4 Relationships between DR3 and DR4 hole depths and temperature

## 2 利用前景分析

### 2.1 利用条件

一般认为,干热岩的开发利用应同时具备温度大于200℃<sup>[9]</sup>、流量大于6912 m<sup>3</sup>/d两个条件。共和盆地干热岩具有温度高、分布面积广、埋藏相对较浅的特点,总资源量丰富,且3000 m以深温度满足大于200℃的要求。地下热水勘查成果表明,盆地中第四系、新近系地下水含水层富水性相对较差,单井出水量仅1000 m<sup>3</sup>/d左右,与需水量6912 m<sup>3</sup>/d相差很大,但是考虑到干热岩分布区地处黄河两岸,黄河有57283 m<sup>3</sup>/d的地表水,盆地干热岩的开发具备利用的基本条件。

### 2.2 盆地干热岩工程地热系统建设的可行性

发达国家对干热岩开发利用主要是通过采用增强型地热系统(Enhanced Geothermal Systems, EGS)或工程地热系统(Engineered Geothermal System)进行,将高压水通过深井注入地下2000~6000 m人工建造、有连通裂隙的地热储层,使其渗透进入岩层的缝隙并吸收岩石中地热能量,再通过另一个专用深井将岩石裂隙中的高温水、汽提取到地面进行能源利用。

由于干热岩无地下水分布,共和盆地干热岩开发利用只能采用工程地热系统,国外试验中,工程地热系统常用的模式主要有3种:1)美国提出的“人工高压裂隙模式”,通过人工高压注水在完整的岩体中建造地热储层;2)英国提出的“天然裂隙模式”,较充分的利用地下已有的裂隙网络;3)欧洲研究人员提出来的“天然裂隙-断层模式”,这种模式除了利用地下天然的裂隙,而且还利用天然的断层系统,这两者的叠加使得热交换系统的渗透性更好<sup>[10]</sup>。

根据盆地干热岩岩体具有完整岩体与裂隙发育岩体互层,部分地段还有断裂带揭露,两类岩体连续最大厚度都能达到90 m以上,断裂带厚度也达60 m以上的特征,岩体条件均可满足上述3种模式的应用。既能开展各种方式的工程地热系统建设的科学研究,又能开展规模实际利用。

干热岩分布区地域广阔,人烟相对稀少。区内海拔3 km

左右,平均湿度48.9%,平均气温3.7℃,人居条件相对较好。同时,交通发达,电网设施等基础设施建设水平较高,是较好的干热岩开发利用场地。

### 2.3 利用前景

2013年1月发布的《国家能源局、财政部、国土资源部、住房和城乡建设部关于促进地热能开发利用的指导意见》要求,到2020年全国的高温地热发电达到75 MW,到2015年,全国地热供暖面积达到5亿m<sup>2</sup>,地热发电装机容量达到10万kW,地热能年利用量达到2000万t标准煤,形成地热能资源评价、开发利用技术、关键设备制造、产业服务等较完整的产业体系。推进共和盆地地热能(包括干热岩资源)开发利用,不仅对上述目标任务的实现具有积极作用,而且对当地发展具有重要意义。首先,盆地具有丰富的中低温热水及干热岩资源条件,尤其是,干热岩不但拥有高温特征,而且区内具备丰富的地表水资源、干热岩岩体特征适合EGS工程地热系统建设,只要加大开发利用研究力度,规模发电将成为可能。其次,共和盆地位处青藏高原,气候较为寒冷,州府恰卜恰镇年烤火期不少于6个月,利用地热能实现城镇供暖对改善当地人居环境意义重大。另外,共和盆地地域广阔、地形平坦、人烟稀少,由于气候干旱,水热不足严重影响着当地农业发展,充分利用发电、供暖后的水汽补充水热,开展规模种植对青海省粮食自给和蔬菜保障具有现实意义。

## 3 结论

共和盆地位处自然地理、交通及基础设施建设等条件相对较好的青海省东中部,因位处昆秦结合部造山带西缘,地质构造特殊等原因,经物探、钻探发现,盆地地热异常明显,平均地温梯度达(6.7~6.8)℃/100 m。盆地基底分布有大面积的干热岩资源,现已确定盆地北缘干热岩呈片状分布,推断沿断裂带分布的干热岩面积不小于790 km<sup>2</sup>。

盆地干热岩具有温度高、埋藏浅的特点,2200 m左右温度达到150℃,3000 m岩体温度接近200℃,预计4000 m时温度可达260℃以上。干热岩岩体为印支期花岗岩,岩体具完整岩体与裂隙发育岩体互层现象,部分地段还有断裂带分布,且各类岩体(包括断裂带)都有大厚度连续分布段存在。完整岩体隔水、隔汽效果好,裂隙发育岩体具有一定的连通性,尤其是断层带连通性极好,有利各项研究工作的开展。共和盆地干热岩热源来源于地下深处的可能性极大。共和盆地地热能利用前景广阔,尽快开展干热岩开发利用研究,推动其在发电、供暖等方面的能源利用,不仅能填补中国新能源利用的一项空白,而且对当地人居条件改善、工农业发展具有现实意义。

### 参考文献(References)

[1] 王斌,何世豪,李百祥. 青海共和盆地地热资源分布特征兼述CSAMT在地热勘查中的作用[J]. 矿产与地质, 2010, 24(3): 280-285.

Wang Bin, He Shihao, Li Baixiang. The distribution features of geothermal resources in the Qinghai Gonghe Basin and the role of CSAMT in geothermal exploration[J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24(3): 280-285.

- [2] 殷秀兰,董颖. 我国干热岩地热资源潜力刍议[C]//中国地热资源开发与保护研讨会论文集. 北京:地质出版社, 2007: 47-50.  
Yin Xiulan, Dong Ying. The potential of China's hot dry rock geothermal resource[C]//The Symposium of China's Geothermal Resource Development and Protection. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 47-50.
- [3] 张学亭,杨生德,杨站君,等. 青海省板块构造研究—1: 100万青海省大地构造图说明书[M]. 北京:地质出版社, 2007.  
Zhang Xueting, Yang Shengde, Yang Zhanjun, et al. The study of Qinghai tectonics plates—1: 1000000 tectonic map specification [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [4] 石宝颐,张峻太. 论秦昆构造带的共和"缺口"[J]. 青海地质, 1982(3): 21-29.  
Shi Baoyi, Zhang Juntai. On the Gonghe "Gap" of Qinkun tectonic belt [J]. Qinghai Geology, 1982(3): 21-29.
- [5] 方斌,周训,梁四海. 青海贵德县扎仓温泉特征及其开发利用[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 57-63.  
Fang Bin, Zhou Xun, Liang Sihai. The features and exploitation of Qinghai guide county Zhacang Spa[J]. Modern Geology, 2009, 23(1): 57-63.
- [6] 王瑾,张志勇,王秉璋. 1: 25万兴海幅区域地质调查报告[R]. 西宁:青海省地质调查院, 2007.  
Wang Jin, Zhang Zhiyong, Wang Bingzhang. 1: 250000 Xinhai pieces of regional geological survey report[R]. Xining: Qinghai Geological Survey Institute, 2007.
- [7] 姜枚,王有学,钱辉. 造山的高原: 青藏高原及邻区的宽频地震探测与地壳上地幔结构[M]. 北京:地质出版社, 2009.  
Jiang Mei, Wang Youxue, Qian Hui. The broadband seismic exploration as well as the crust upper mantle structure in the orogenic plateau, Qinghai-Tibet plateau and its adjacent area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [8] 熊亮萍,汪集旻,庞忠和. 漳州热田的对流热流和传导热流的研究[J]. 地球物理学报, 1990, 33(1): 702-711.  
Xiong Liangping, Wang Jiyang, Pang Zhonghe. The study of convection heat and conduction heat flow in Zhangzhou Atsuta[J]. Geophysics, 1990, 33(1): 702-711.
- [9] 曾梅香,李俊. 天津地区干热岩地热资源开发利用前景浅析[C]//中国地热资源开发与保护研讨会论文集. 北京:地质出版社, 2007.  
Zeng Meixiang, Li Jun. The exploitation prospects of hot dry rock geothermal resources in Tianjin Region[C]//The Symposium of China's Geothermal Resource Development and Protection. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [10] 冉恒谦,冯起贻. 我国干热岩勘查的有关技术问题[J]. 探矿工程, 2010, 37(10): 17-21.  
Ran Hengqian, Feng Qizeng. The technical issues of hot dry rock exploration in China[J]. Exploration Engineering, 2010, 37(10): 17-21.

(编辑 田恬)