

# 利津县干热岩开发利用条件探析

王浩, 卢建荣, 兰善治

(山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015)

**摘要:**干热岩作为一种清洁的新能源,具有热能大、分布广、开发利用对环境影响小、不受季节等自然条件影响的优势。美国在 20 世纪 70 年代即进行了干热岩开发利用研究工作,而干热岩的勘查开发利用在我国尚处于起步阶段,因此对干热岩勘查、开发技术开展研究有着非常现实的意义。该文在简述国内外对干热岩研究现状的基础上,对利津县干热岩的地热地质条件、干热岩的热储特征及开发利用条件进行了分析,计算了资源量,并提出了干热岩开发利用的建议。

**关键词:**干热岩;新能源;地热能勘查;山东利津

**中图分类号:**P314.2

**文献标识码:**A

**引文格式:**王浩,卢建荣,兰善治.利津县干热岩开发利用条件探析[J].山东国土资源,2015,31(5):20-23.WANG Hao, LU Jianrong, LAN Shanzhi, Primary Analysis on Exploitation and Utilization Condition of Hot Dry Rock in Lijin County[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(5): 20-23.

随着人类对能源需求的不断增长,全球化石燃料总量的减少及其开发利用带来的环境恶化程度加剧,太阳能、风能、水能、地热能等可再生且无污染的清洁新能源越来越受到世界各国的重视。开发利用无污染且不受气候等外界条件影响的新能源——干热岩<sup>[1]</sup>,成了很多发达国家积极开展试验研究的新课题。目前,一些发达国家已将其作为一种新型清洁能源开展研究和试验,并成功实现了干热岩发电。我国干热岩研究尚处于起步阶段。利津县在干热岩勘查开发方面走在了全国前列,在 2012—2014 年成功实施了“利津县干热岩调查”项目,并取得了一定的成果。

## 1 干热岩研究历史与现状

### 1.1 国际干热岩研究现状

最早对干热岩进行研究的国家是美国。1974 年,美国洛斯·阿尔莫斯(Los Alamos)国家实验室在美国新墨西哥州的芬顿山钻了第一眼深井,拉开了干热岩研究的序幕。通过国际合作和各国不断努力,美国、日本、英国、法国、德国等国家在过去 20 年

相继进行了有关方面的实验,基本掌握了干热岩发电各个环节的技术。随着技术的熟练,试验电厂的发电量也逐渐由 3 MW 增大到 11 MW,更加接近商业开发的规模<sup>[2]</sup>。

目前,国际上干热岩发电技术正向第二代过渡,在采热的关键技术,即在不渗透的干热岩体内形成热交换系统试验中,形成了人工高压裂隙模式、天然裂隙模式、天然裂隙-断层模式 3 种地下热交换系统模式<sup>[3]</sup>。

### 1.2 我国干热岩研究现状

我国干热岩研究尚处于起步阶段,目前已经开展或正在开展的项目有“利津县干热岩调查”、“青海共和盆地中北部干热岩调查”等,并且已经勘探到开发利用条件较好的干热岩地热资源。

## 2 地质背景

### 2.1 地质构造单元

利津县在大地构造单元上位于华北板块、华北拗陷区、济阳拗陷、东营潜断陷的东营潜凹陷和沾化潜断陷的沾化潜凹陷、陈庄潜凸起(图 1)。根据“利

收稿日期:2014-07-30;修订日期:2014-09-03;编辑:陶卫卫

作者简介:王浩(1980—),男,甘肃武山人,工程师,主要从事工程地质水文地质工作;E-mail:whao016@163.com

津县干热岩调查”及区内石油钻探成果综合分析可知,在埋深 4 000 m 以上分布有花岗岩的区域为陈庄潜凸起区。该区东西长 63 km,南北宽 15 km,面积约 558.3 km<sup>2</sup>。新近系及第四系覆盖厚度 950~1 500 m,下部由前寒武纪侵入岩及古生代地层组成<sup>[4]</sup>。

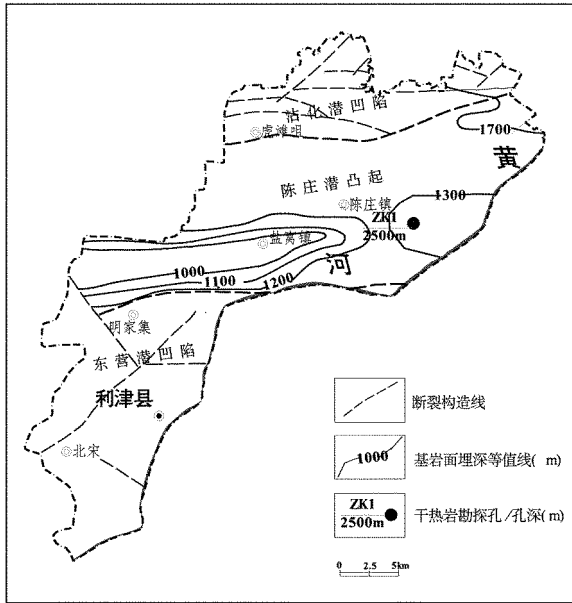


图 1 利津县基岩面埋深等值线图

## 2.2 地层

利津县地层发育较齐全。特别是中生代以来受燕山运动和喜马拉雅运动的影响,该区一直缓慢下降,其上沉积了巨厚的新生代地层,且地层厚度变化较大,在陈庄潜凸起区较薄约 950~1 500 m,凹陷区较厚,约 3 000~4 000 m。在陈庄潜凸起区地层由老至新有:①古生界寒武系—奥陶系;②古近纪沙河街组及东营组;③新近纪馆陶组及明化镇组;④第四系。

位于陈庄镇前郭村西侧施工的干热岩勘探孔揭露的地层依次为:第四纪平原组(275 m)、新近纪明化镇组(275~989 m)、新近纪馆陶组(989~1 243 m)及前寒武纪侵入岩(1 243~2 500 m 未穿)。

## 3 干热岩开发利用条件分析

### 3.1 地温场特征

调查区地温梯度较高,根据收集的资料综合分析,陈庄潜凸起区地温梯度值在 4.0~4.5 °C/100m,

干热岩勘探孔在施工至不同深度时共进行了 5 次测温(图 2),根据每次测温数据,依据公式分别计算各区段地温梯度值见表 1,综合确定勘探孔处地温梯度达到了 4.07 °C/100m,说明该区具有较高的开发利用价值。

$$G = \frac{t - t_0}{h - h_0} \times 100$$

式中:G—地温梯度(°C/100 m);t—井口测量温度(°C);t<sub>0</sub>—恒温带温度(取 12.4°C);h—取水段中点埋深(m);h<sub>0</sub>—恒温带埋深(取 20 m)。

表 1 各测井段地温梯度值

测井深度	测井深度/温度(m/°C)				
	1267/ 52.1	1692/ 74.4	2000/ 83.6	2200/ 96	2492/ 104.2
0	3.76	5.25	4.30	4.71	4.25
1267m	/	4.13	2.99	4.25	3.73
1692m	/	/	3.96	6.20	4.19
2000m	/	/	/	4.16	2.81
2200m	/	/	/	/	4.00

### 3.2 干热岩岩性特征

根据干热岩勘探孔所采集的岩心岩矿测试资料,该区的前寒武纪侵入岩在埋深 2 500 m 以上主要以花岗岩、二长花岗岩及弱绿泥石化二长花岗岩为主,含有少量的碳酸盐化黑云母闪长岩、黑云母辉长岩。其化学成分以 SiO<sub>2</sub> 为主,除埋深 2 200~2 300m 区段含量较低外(41.92%),其余区段 SiO<sub>2</sub> 含量占 58.55%~73.84%,其次为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,占 8.23%~13.36%。

岩石块体密度在 2.589~2.859 g/cm<sup>3</sup>,颗粒密度在 2.633~2.940 g/cm<sup>3</sup>,在垂向上随深度的增加呈逐渐增大的趋势。孔隙率除埋深 2 200~2 300 m 区段较高(2.89%~3.73%)外,其余区段变化较小,在 0.49%~1.43%之间。

### 3.3 干热岩热物性特征

干热岩勘探孔处埋深 2 500 m 以上岩石热导率在 2.441~3.925 W/(m·k),比热容在 0.928~1.930 MJ/(m<sup>3</sup>·K),热扩散率在 1.576~3.285 mm<sup>2</sup>/S,在垂向分布上无明显规律,整体变化不大。

### 3.4 干热岩压裂特征

干热岩开发利用,首先要在相对经济的埋深范围内拥有较高的温度(150°C 以上),同时干热岩要具有自然裂隙或可压裂性<sup>[5]</sup>,易于人工储留层的建造。

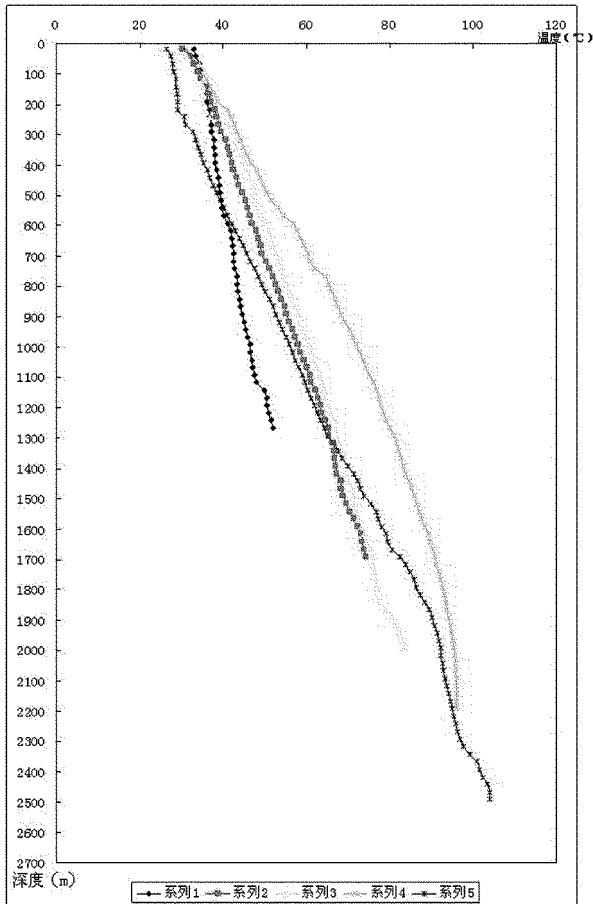


图 2 勘探孔 5 次泥浆测温曲线图

该区干热岩勘探孔钻探完成后,进行了一组压裂试验,试验段为埋深 2 003~2 500 m 区段,封隔器上部静水压力为 20 MPa,在分阶段测试中(表 2),井口压力达到 26.5 MPa 左右时,有压力陡降现象(图 3),说明在此压力下,天然裂隙被水力压裂,且压裂后裂隙贯通情况较好。其渗透系数随着压力的增加,呈逐渐增大的趋势。在试验水头不变的情况下(2 003 m),井口压力加压至 22.5~28.5 MPa 的过程中,渗透系数由  $2.39 \times 10^{-7}$  增加至  $2.27 \times 10^{-6}$  (cm/s)。

表 2 各测井段地温梯度值

测试段	注水量 Q(L/min)	试段长度 L(cm)	试验压力 P(MPa)	试验段半 径 R(mm)	渗透系数 K(cm/s)
1	230	49700	22.5	76	$2.39 \times 10^{-7}$
2	510	49700	24.3	76	$5.09 \times 10^{-7}$
3	1000	49700	26.5	76	$9.50 \times 10^{-7}$
4	1500	49700	23.1	76	$1.54 \times 10^{-6}$
5	2000	49700	25.2	76	$1.95 \times 10^{-6}$
6	2490	49700	28.5	76	$2.27 \times 10^{-6}$

随后在分别保持注水量为  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $30 \text{ m}^3/\text{h}$

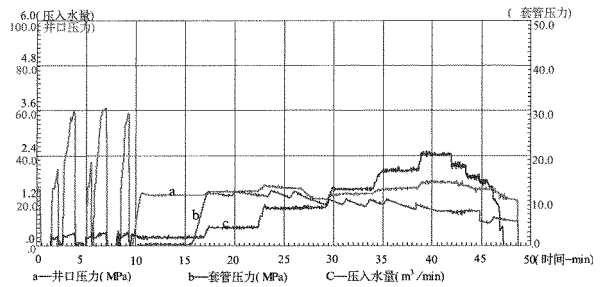


图 3 压裂压力与注水量关系图

不变的情况下持续压裂 48 h,其井口压力由 16.31 MPa 持续平稳增加至 32.58 MPa。压力持续增长的主要原因是只有注水井,而没有对应的抽水孔。

### 4 干热岩资源量计算

利津县陈庄潜凸起区地温梯度为  $4.0 \sim 4.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。采用热储法计算陈庄潜凸起区干热岩中储存的热量,可按下式计算:

$$Q = Q_r + Q_w$$

$$Q_r = Ad\rho_r C_r (1 - \varphi)(t_r - t_0)$$

式中: $Q$ —热储中储存的热量(J); $Q_r$ —岩石中储存的热量(J); $A$ —计算区面积( $\text{m}^2$ )(取  $637 \text{ km}^2$ ) $d$ —热储厚度(m);(取 2 000 m,埋深 3 000~5 000 m 范围); $\rho_r$ —热储岩石密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )(取  $2 700 \text{ kg}/\text{m}^3$ ); $C_r$ —热储岩石比热( $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ )(取  $794 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ); $\varphi$ —热储岩石的孔隙度,无量纲(取 0.017); $t_r$ —热储温度( $^\circ\text{C}$ )(按埋深 4 000 m 预测温度  $170^\circ\text{C}$ ); $t_0$ —当地年平均气温( $^\circ\text{C}$ )(取  $12.4^\circ\text{C}$ )。

计算结果:①按上述参数计算,埋深 3 000~5 000 m 范围内干热岩蕴藏的热资源量为  $4.39 \times 10^{20} \text{ J}$ 。②利用温差取  $60^\circ\text{C}$  ( $t_r - t_0 = 60^\circ\text{C}$ )计算,埋深 3 000~5 000 m 范围内干热岩蕴藏的热资源量为  $1.62 \times 10^{20} \text{ J}$ 。

### 5 结语

(1)干热岩是一种无污染且不受气候等外界条件影响的新能源,我国干热岩地热地质条件优越,具有广阔的发展前景。利津县陈庄镇地区新近系及第四系覆盖厚度 950~1 500 m,下部主要由前寒武纪侵入岩及古生代地层组成。具有良好的干热岩地质赋存条件。

(2)山东省干热岩资源量蕴藏丰富,分布广泛。仅在陈庄潜凸起区埋深 3 000~5 000 m 范围内干

热岩蕴藏的热资源量为  $4.39 \times 10^{20}$  J, 利用温差取  $60^\circ\text{C}$  计算, 埋深 3 000~5 000 m 范围内干热岩可利用资源量为  $1.62 \times 10^{20}$  J。

(3) 利津县陈庄潜凸起区具有较好的干热岩开发利用条件, 可以在前期调查的基础上继续加大资金支持, 建立一个干热岩研究示范基地, 为今后开展干热岩资源研究、开发利用和其他相关地质科学研究提供试验基地。

## 参考文献:

- [1] 郭进京, 周安朝, 赵阳升. 高温岩体地热资源特征与开发问题探讨[J]. 天津城市建设学院学报, 2010, (6): 77-81.
- [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, (10): 17-21.
- [3] 杨方, 李静, 任雪娇. 中国干热岩勘查开发现状[J]. 资源环境与工程, 2012, (8): 18-22.
- [4] 张增奇, 张成基, 王世进, 等. 山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见[J]. 山东国土资源, 2014, 30(3): 1-23.
- [5] 张建英. 增强型地热系统(EGS)资源开发与利用研究[J]. 研究与探讨, 2011, (1): 29-32.

# Primary Analysis on Exploitation and Utilization Condition of Hot Dry Rock in Lijin County

WANG Hao, LU Jianrong, LAN Shanzhi

(Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

**Abstract:** As a clean and new energy, hot dry rock has many advantages, such as great heat, wide distribution, small affect of development and utilization to environment, and not affected by seasons and natural conditions. In 70's of 20 century, development and utilization of hot dry rock have been carried out in America, while geological exploration and exploitation work of hot dry rock in China are still at the initial stage. It has a very practical significance to carry out exploration and development technologies of hot dry rock. In this paper, on the basis of introducing present study condition of hot dry rock in domestic and foreign countries, geothermal and geological conditions, characteristics of heat reservoir, development and utilization of hot dry rock in Lijin county have been analyzed, the amount of resources have been calculated, and suggestions for development and utilization of hot dry rock have been put forward.

**Key words:** Hot dry rock; new energy; geothermal energy; Lijin county in Shandong province