

山东即墨温泉资源开发利用与可开采水量评价

徐锐^{1,3)}, 董杰^{1,2,3)}, 曹立雪^{1,3)}, 刘建霞^{1,3)}, 尹政^{1,3)}, 刘海松^{1,3)}

1) 青岛地质工程勘察院, 山东青岛, 266100; 2) 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东青岛, 266100;

3) 山东省地矿局城市地质与地下空间资源重点实验室, 山东青岛, 266100

内容提要:山东即墨温泉是胶东三大氯化物温泉之一,为中氡地热水,具有较高的医用价值。目前温泉可采资源量占总量的56%,开采潜力较高,但由于旅游业的大力发展,大规模开发地热水造成地下水水位从1992年至今水位下降近20 m,矿化度及氯、钠离子变化不大,说明监测井位置海水入侵程度较低。同时,通过计算得出,即墨温泉可利用热能资源量 1.28×10^{15} J,相当于 8.79×10^4 t标准煤的热量,地下热水储量为 0.68×10^8 m³,地下水可采资源量为1075.31 m³/d。并通过modflow软件模拟开发条件进行评价,提出了月开采量的合理化建议:即每年12月~次年3月开采量为1450 m³/d,4月~6月开采量为450 m³/d,7月~11月开采量为100 m³/d。

关键词:即墨温泉;地热资源量;开发利用;可开采水量评价

山东即墨温泉(又称即墨东温泉),位于青岛市即墨区东北的温泉镇东温泉村南部(图1),泉眼很多,是胶东三大氯化物温泉(招远温泉、威海温泉和即墨温泉)之一(Liu Yanguang et al., 2009)。温泉水温40~93℃,平均66℃。地下水化学类型为Cl-SO₄-HCO₃-Na-Ca型,总矿化度约12 g/L。温泉水资源储量丰富,地热水埋深5~20 m,单井最大涌水量为1019 m³/d,具有水温高、水量大、矿化度高、沉积物丰富的特点。此外,地热水中含有Br、K、Ca、Mg、I等多种微量元素以及放射性元素镭。氡含量58.51 Bq/L,为中氡地热水(Luan Guangzhong et al., 2008)。因此,即墨温泉地热水除了具有热效应外,还有较高的医疗价值。

即墨温泉热水赋存于白垩系莱阳群的长石砂岩之中,节理裂隙发育(Jin Bingfu et al., 2000; Li Xuelun et al., 1997)。顶部为更新统一全新统残坡积沉积,岩性为灰黄色砂质粘土、砂砾石及受下部地热影响而形成的淤泥质粉砂、粉砂质淤泥,此类沉积物透水性差,与下伏裂隙不发育的莱阳群碎屑岩类及火山岩类,具一定的保温、隔热作用(Luan Guangzhong et al., 2003a; Luan Guangzhong et al., 2007a)。

温泉区内地层受构造及水蚀作用影响,形成诸多破碎带、裂隙带及孔洞,为地下水赋存提供了良好的场所,在有利部位发育成热储。深部岩浆温度传导及岩浆岩中放射性元素蜕变产生的热,成为地热田主要热源。北东向沧口-温泉断裂和北北西向荆疃-水泊断裂,既沟通了地壳深部热源,又为地下热水储存和运移提供了良好的通道(Liu Shanjun, 1998),是主要的控水控热构造(图1)。

1 开发利用

即墨温泉投入医疗使用最早闻名于汉代,东汉科学家张衡、明代名医李时珍均有其治病记载(Liu Yanguang et al., 2010)。自1957年起,青岛市开始建设温泉度假村和工人温泉疗养院等,到20世纪80年代,即墨温泉村已建立了6个温泉疗养院用以疗养和取暖(Wan Yansen et al., 1987),收到了良好的收益。

2000年以后,由于旅游业的大力发展,大规模的需水量使地下水位急剧下降,致使原本可以自流的温泉水自2000年开始无法自流。2016年春节后,部分井温泉水出现浑浊现象,颜色淡黄色,味微咸(Wang Yiyun, 2018)。

收稿日期:2019-08-07;改回日期:2019-09-16;责任编辑:李曼。

作者简介:徐锐,男,1990年生。青岛地质工程勘察院工程师,长期从事水工环地质方向研究。Email:362155603@qq.com。通信作者:董杰,男,1981年生。青岛地质工程勘察院高级工程师,长期从事水工环地质方向研究。Email:mouseding2008@163.com。

引用本文:徐锐,董杰,曹立雪,刘建霞,尹政,刘海松. 2019. 即墨温泉资源开发利用与可开采水量评价. 地质学报, 93(s1): 206~211. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019229.
Xu Rui, Dong Jie, Cao Lixue, Liu Jianxia, Yin Zheng, Liu Haisong. 2019. Development, utilization and potential evaluation of Jimo hot spring resources in Shandong. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 206~211.

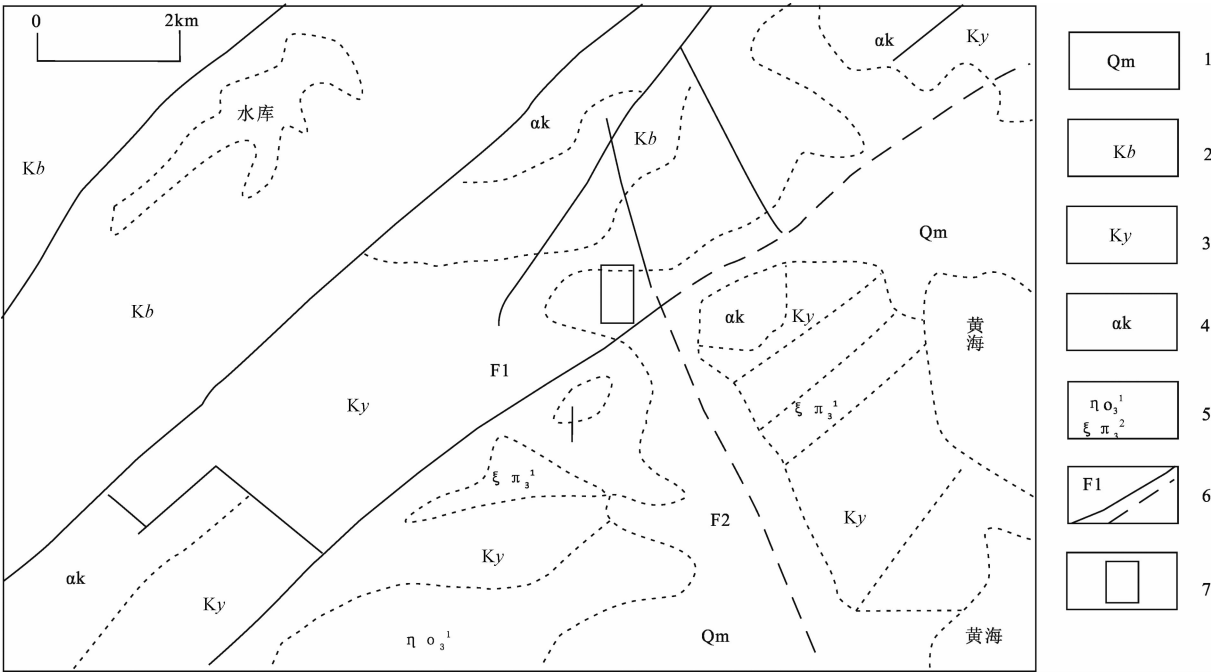


图 1 即墨东温泉区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Jimo hot spring area

1—第四系; 2—白垩纪青山群; 3—白垩纪莱阳群; 4—早白垩纪潜安山岩; 5—燕山期岩浆岩; 6—实(推)测断层; 7—温泉
1—Quaternary; 2—Cretaceous Qingshan Group; 3—Cretaceous Laiyang Group; 4—Early Cretaceous buried andesite;
5—Yanshanian magmatic rocks; 6—measured (inferred) faults; 7—hot spring

自 1992 年至今,利用人工监测方式对即墨市温泉镇疗养院进行水位和水质监测,得到的结果如图 2、表 1,监测井深 102.25 m。从数据变化分析可知,近 27 年中,监测井的地下水水位下降最大值近 20 m,大规模的开采形成了巨大的漏斗。但从表 1 中的数据可知,监测时间范围内水样整体矿化度下降,钠离子和氯离子含量也整体呈下降趋势,因此大量

开采并未造成海水倒灌,监测井位置海水入侵程度较低。

2 地热资源量计算

2.1 地热资源量计算

结合即墨温泉地热资源类型和特征,根据地热资源地质勘查规范(GB/T 11615—2010)采用热储

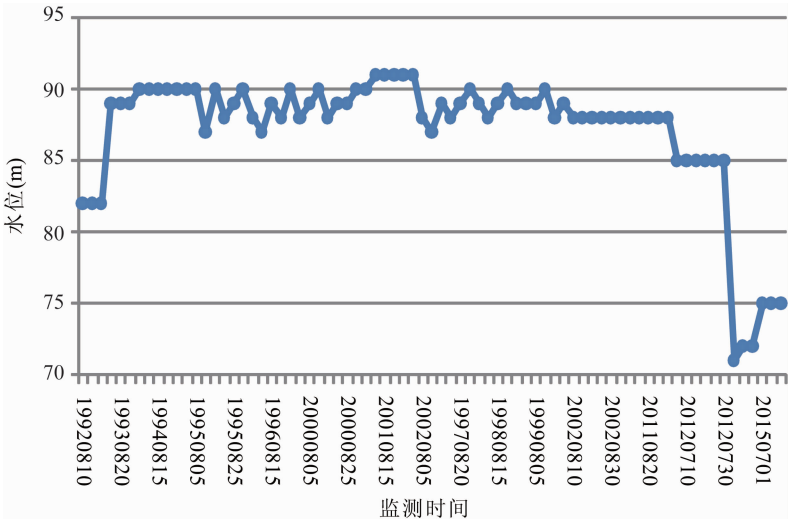


图 2 即墨区温泉工人疗养院监测井水位变化图

Fig. 2 Water level change curve of monitoring well in hot spring sanatorium of Jimo district

表 1 即墨区温泉工人疗养院监测井水质变化图

Table 1 Water quality change of monitoring well in hot spring sanatorium of Jimo district

水样采取时间	水样化验时间	总矿化度 (mg/L)	钠离子 (mg/L)	氯离子 (mg/L)
19921110	19921115	10898.81	2800	6492.62
19931015	19931101	10672.45	2775	6266.98
19941017	19941109	10631.58	2800	6336.69
19950620	19950814	10653.63	2675	6403.16
199610	19961111	10734.88	2650	6478.49
19970620	19970708	10369.6	—	6297.12
19981102	19981112	10563.36	2550	6434.28
19990703	19970726	10818.82	2780	6473.33
20000930	20001009	10738.36	2720	6424.64
20010610	20010614	10586.83	2650	6375.01
20141215	20141218	7543.91	2088.11	4174.88
20131008	20131025	8738.97	2296	5223.91
20140825	20140829	7185.13	1773.4	4069.15
20150426	20150505	9193.57	2128.92	4696.94
20150929	20151008	9102.96	2253.17	5583.81
20160606	20160620	10651.53	2141.72	6884.5
20161109	20161211	8985.57	2355.11	5700.98
20170616	20170616	—	2059.38	4892

法进行即墨温泉地热能资源量的计算,考虑到即墨温泉资源的地质服务用途与可持续开发利用,因此水位降低到取水能力极限深度所释放的热量作为封存热量,不计入本次资源量计算,简化公式如(1)所示,可开采热量按公式(2)计算:

$$Q_R = CAd(t_r - t_j)$$

$$Q_{wh} = Q_R \times R_E$$

式中: Q_R 为地热资源量(kcal); Q_{wh} 为开采出的热量(kcal); R_E 为回收率; A 为热储量面积(m^2); d 为热储厚度(m); t_r 为热储温度($^{\circ}C$); t_j 为基准温度(即当地地下恒温层温度或年平均气温)($^{\circ}C$)。

由式(3)求出:

$$C = \rho_c \cdot C_c(1 - \varphi) + \rho_w C_w \varphi$$

式中: C 为热储岩石和水的平均比热容(kcal/ $m^3 \cdot ^{\circ}C$); ρ_c 、 ρ_w 为分别为岩石和水的密度(kg/m^3); C_c 、 C_w 为分别为岩石及水的比热容(kcal/ $kg \cdot ^{\circ}C$); φ 为岩石的孔隙度(%)。

通过对即墨地热田的地质构造分析、物探、浅层测温等方法综合分析,确定即墨温泉水流量为 275 m^3/d ,热储面积 0.5 km^2 ,结合工作区内以往钻孔资料综合研究,热储厚度 200 m,孔隙度为 0.25(Chen Moxiang,1988),实测热储温度 90 $^{\circ}C$,基准温度 15.2 $^{\circ}C$,岩石比热值为 0.19 cal/($g \cdot ^{\circ}C$),密度为 2.70 g/cm^3 ,水的比热为 1 cal/($g \cdot ^{\circ}C$),密度为 0.9653 g/cm^3 。

根据以上参数进行计算,得出即墨温泉热能资

源量 1.61 $\times 10^{16}$ J,相当于 1.10 $\times 10^6$ t 标准煤的热量。中生代砂岩和花岗岩等火成岩类热储根据裂隙发育情况定为 0.05~0.1,结合温泉地热田热储裂隙发育程度,确定本次地热田回收率为 0.08,计算得出可利用热能资源量 1.28 $\times 10^{15}$ J,相当于 8.79 $\times 10^4$ t 标准煤的热量。

2.2 地下热水资源量计算

即墨温泉地热田为裂隙型带状热储,地下热水储存量利用公式(4)进行计算:

$$W_{\text{储}} = V \cdot \varphi$$

式中: V 为热储层体积(m^3); φ 为岩石的孔隙度(无量纲),根据经验值取 0.25。

根据《地热资源地质勘查规范》中浅埋带状热储控制深度在 1000 m 以内,本次深度按 1000 m 计算,得出即墨温泉地下热水储量为 0.68 $\times 10^8 m^3$ 。

2.3 地下热水允许开采量计算

在假设水位、水温不会出现持续快速下降的情况下,结合即墨温泉镇抽水试验和水文动态资料,根据供水水文地质勘察规范中规定的非稳定流抽水试验计算公式,利用(5)式求取水位下降到低水头时的允许开采量,计算如下:

$$Q_{\text{允}} = 2.73 \frac{Kms_w}{\lg R - \lg r_w}$$

式中: $Q_{\text{允}}$ 为允许开采量(m^3/d); K 为渗透系数(m/d); m 为热储厚度(m); s_w 为水位降深(m); R 为抽水井影响半径(m); r_w 为抽水井半径(m)。

抽水试验数据分析均采用直线图解法,得到的即墨温泉水文地质参数如表 2。

表 2 即墨温泉水文地质参数汇总表

Table 2 Summary of hydrogeological parameters of Jimo hot spring

温泉名称	井径(m)	渗透系数(m/d)	影响半径 R(m)	设计降深(m)	温泉出露标高(m)	设计水位标高(m)
东温泉	0.06	1.55	193	5.00	25	20

在此基础上,利用水力学法建立涌水量与降深的经验公式,采用直线外推预测地热流体的涌水量,由于 Q_1 的涌水量是在长期抽水过程中,水位达到设计降深后丰水期的排水量,停抽后水位可迅速上升,抽水量与补给量基本处于平衡状态,因此,该计算结果为有保证的可采资源量。

采用直线外推法计算地热流体可采量,计算公式如(6):

$$Q = \frac{Q_1}{S_1} S$$

式中: Q_1 为可采资源量(m^3/d); Q_1 为当前涌水量

(m^3); S_1 为当前降深(m); S 为推测降深(m)。
经计算,可采资源量为 $1075.31 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3 可开采水量评价

利用 modflow 软件建立地下水系统的概念模型,合理处理含水层结构,确定即墨温泉地下水补径排条件并将破碎带划分为含水层进行计算,确定地下水流类型为三维非稳定流,另外,即墨温泉为构造裂隙成因,出露于地势低洼的一级阶地或河漫,边界条件明确,构造破碎带周围皆为二类零流量边界,地层深部的地下水涌通道区内承压地下水的唯一入口,为定水头边界,地表浅部的自流泉,取水井为定流量边界。

通过确定模拟范围、地图的准备与输入、各地层高程的准备与输入、模型中断层的刻画、其他源汇项的描述以及模型的识别与检验 6 个步骤,建立起地下水三维网络模型。为了精准刻画地热田的范围,合理配置补径排条件,选取地热田为中心长宽各

1000 m 的 1 km^2 范围为模拟范围,匹配比例尺为 1 : 1000 的数字地图,并根据实际地质情况对模型中的地层和构造进行定义。由于地热田附近地表河流未对温泉形成补给,因此忽略了模拟地表河流对温泉的影响、模拟范围内的降雨、蒸发对温泉的排泄的影响。

利用软件对即墨温泉地下水开采进行拟合,得到的结果如表 3、图 3 所示。

即墨温泉开采量约 $22.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,约占总资源量的 56%,开发潜力较高。近年来,随着地铁 11 号线的通车和即墨区由县级市转变为市辖区,投资的加大和更加便利的交通,使得即墨温泉的发展较之前有了很大的飞跃,大规模的开采造成了地下水位持续下降以及水质的降低。通过软件拟合结果,结合开发实际,模拟出即墨温泉一年内不同月份的合理开采量,对即墨温泉的可持续开发利用提出了合理化建议,不同时间的允许开采量如表 4 所示。

表 3 即墨温泉模型模拟计算结果汇总表
Table 3 Summary of simulation results of Jimo hot spring model

温泉	抽水流量 (m ³ /s)	抽水时长 (h)	初始水位 (m)	实测值		模拟值		
				抽水井(m)		抽水井(m)		补给流量 (m ³ /s)
				稳定水位	降深	稳定水位	降深	
东温泉	494	48	20	14.92	5.08	14.74	5.26	446

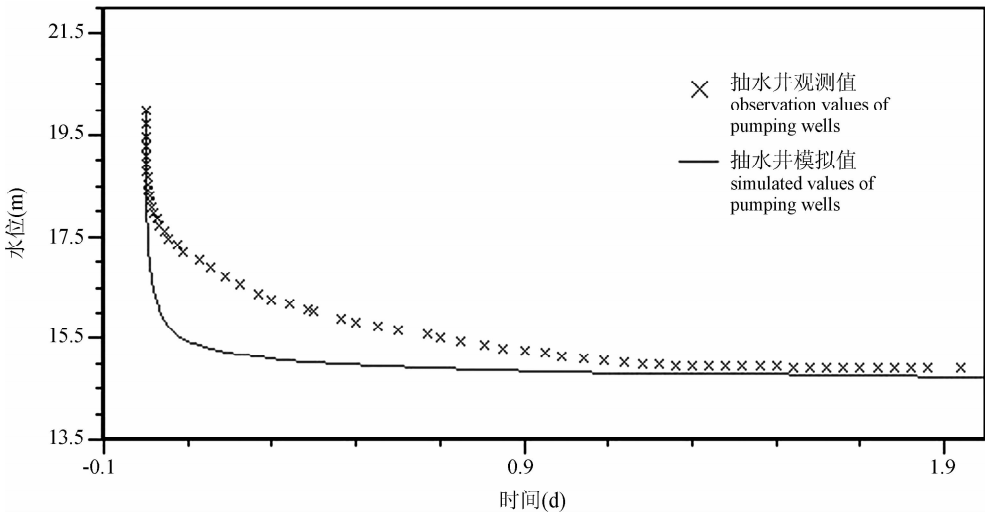


图 3 即墨温泉抽水试验水位拟合曲线图
Fig. 3 Water level fitting curve of Jimo hot spring pumping test

表 4 即墨温泉地热田允许开采量预测结果汇总表

Table 4 Summary of prediction result of permissible exploitation in Jimo hot spring geothermal field

温泉	静水位埋深(m)	12月~次年3月			4月~6月			7月~11月			模拟允许开采量 (m^3/d)	模拟设计降深(m)
		抽水流量 (m^3/d)	埋深 (m)	降深 (m)	抽水流量 (m^3/d)	埋深 (m)	降深 (m)	抽水流量 (m^3/d)	埋深 (m)	降深 (m)		
东温泉	5.0	1450	19.5	14.5	450	10.0	5	100	7.5	2.5	1450	14.5

4 结论

(1)即墨温泉早在汉代就开始投入使用,医疗价值较高,1992 年开始统计地下水水位、水质数据,至今水位下降近 20 m,矿化度及氯、钠离子变化不大,监测井位置海水入侵程度较低。

(2)通过计算得出,即墨温泉可利用热能资源量 1.28×10^{15} J,相当于 8.79×10^4 t 标准煤的热量,地下水储量 0.68×10^8 m³,地下水可采资源量为 1075.31 m³/d。

(3)即墨温泉开采资源量占总量的 56%,开发潜力较高,为保证温泉资源的可持续开发利用,建议在一年中不同月份进行不等量开采,即 12 月~次年 3 月开采量为 1450 m³/d,4 月~6 月开采量为 450 m³/d,7 月~11 月开采量为 100 m³/d。

References

- Chen Moxiang. 1988. Geothermal in North China. Beijing: Science Press, 58~61 (in Chinese with English abstract).
- Jin Bingfu, Zhang Yunji, Luan Guangzhong. 2000. Geothermal characteristics of warm springs in Jiaodong peninsula. Journal of Xi'an Engineering University, 22(05): 31~33+37 (in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Guo Yugui, Huang Yonghua, Meng Fanyou, Wang Jian. 2008. Active faults existent since Quaternary in Jimo hot spring basin and their geological background. Acta Geologica Sinica, 29(04): 434~439 (in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Zhang Aibin, Gao Lan, Liu Haifeng, Ji Guosen. 2007. Geochemical characterization of sediments of Qingdao Jimo hot spring and the division of sedimentary facies. Periodical of Ocean University of China, 37(06): 968~976 (in Chinese with English abstract).
- Luan Guangzhong, Liu Ji. 2003. Geothermal attributes of the warm spring and measures for sustainable development in the Jiaodong area. Journal of Chang'an University (Earth Science Edition), 25(03): 71~75 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shanjun. 1998. Distribution rule of thermal springs and its predication in Shandong Province. Shandong Geology, 25(02):

34~40 (in Chinese with English abstract).

- Li Xuelun, Sun Xiaogong, Wang Yonghong. 1997. Distribution and origin of warm springs in Shandong peninsula. Journal of Ocean University of Qingdao, (03): 123~125+127~130 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yanguang, Cao Xiuyun, Fu Yunxia, Wu Shiyang. 2010. Dynamic change characteristics of geothermal water quality in Jimo hot springs. Land and Resources in Shandong Province, 26(02): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yanguang, Fu Yunxia, Wu Shiyang. 2009. δD and $\delta^{18}O$ compositions in geothermal water of Jimo hot spring and its geological significance. Coastal Engineering, 28(02): 52~60 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yansen, Zhang Qian. 1987. Study on the origin of the warm springs in the wenquan town, Jimo Country, Qingdao. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 5(03): 27~32 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yiyun. 2018. A study of the characteristics and genesis of the hot springs in the western Shandong Peninsula. China University of Geosciences (Beijing), Master's thesis of Degree.

参 考 文 献

- 陈墨香. 1988. 华北地热. 北京: 科学出版社, 58~61.
- 金秉福, 张云吉, 栾光忠. 2000. 胶东半岛温泉的地热特征. 西安工程学院学报, 22(05): 31~33+37.
- 栾光忠, 郭玉贵, 黄永华, 孟繁友, 王建. 2008. 青岛即墨温泉盆地第四纪以来活断层及其地质背景. 地球学报, 29(04): 434~439.
- 栾光忠, 张爱滨, 高澜, 刘海峰, 纪国森. 2007. 青岛即墨温泉沉积物的地球化学标识与沉积相研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 37(06): 968~976.
- 栾光忠, 刘激. 2003. 胶东温泉的地热属性与可持续发展对策. 长安大学学报(地球科学版), 25(03): 71~75.
- 刘善军. 1998. 山东省温泉分布规律及地下热水资源预测. 山东地质, (02): 34~40.
- 李学伦, 孙效功, 王永红. 1997. 山东半岛温泉的分布规律与成因. 青岛海洋大学学报, (03): 123~125+127~130.
- 刘焱光, 曹秀云, 付云霞, 吴世迎. 2010. 即墨温泉地热水水质的动态变化特征. 山东国土资源, 26(02): 19~24.
- 刘焱光, 付云霞, 吴世迎. 2009. 即墨温泉地热水的氢氧同位素特征及其地质意义. 海岸工程, 28(02): 52~60.
- 万延森, 张耆年. 1987. 青岛即墨温泉成因的探讨. 黄渤海海洋, 5(03): 27~32.
- 王昕昀. 2018. 山东半岛西部温泉水化学特征及成因研究. 中国地质大学(北京), 硕士学位论文.

**Development, utilization and potential evaluation of Jimo hot
spring resources in Shandong**

XU Rui^{1,3)}, DONG Jie^{* 1,2, 3)}, CAO Lixue^{1,3)}, LIU Jianxia^{1,3)}, YIN Zheng^{1,3)}, LIU Haisong^{1,3)}

1) *Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Provincial Bureau of Geology
and Mineral Resources, Qingdao, 26100;*

2) *College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, 266100;*

3) *Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resources, Shandong Provincial Bureau of
Geology and Mineral Resources, Qingdao, 266100*

** Corresponding author: mousedong2008@163.com*

Abstract

Jimo hot spring is one of the three chloride hot springs in Jiaodong area. It is medium radon geothermal water and has high medical value. At present, hot spring exploitable resources account for 56% of the total and have high exploitation potential. However, due to the vigorous development of tourism, large-scale exploitation of geothermal water has caused groundwater level to drop by nearly 20 m from 1992 to now, and the salinity, chloride and sodium ions have little change, which indicates that the seawater intrusion degree of monitoring wells is low. At the same time, the calculation shows that the available thermal energy resources of Jimo hot spring are 1.28×10^{15} J, equivalent to 8.79×10^4 tons of standard coal, the underground hot water reserves are 0.68×10^8 m³, and the recoverable groundwater resources are 1075.31 m³/d. Through the evaluation of the development conditions simulated by modflow software, the reasonable suggestions of monthly mining amount are put forward: 1450 m³/d in December to next year March, 450 m³/d in April-June and 100 m³/d in July-November.

Key words: Jimo hot spring; geothermal resources; development and utilization; potential evaluation