

# 北京地区地热资源开采评价

林 叶

(北京航天勘察设计研究院, 北京 100070)

**【摘要】** 地热通常指那些能够为人类所开发和利用的地球内部的热资源。地热资源是可供工业、农业利用的生态型能源, 具有巨大的市场潜力。地热资源作为一种相对清洁的替代能源, 对其进行开采评价有助于地热资源合理有效地利用。以北京某地热井为例, 从地热温度、矿物质含量、开采量及水质等方面对地热资源进行了评价。在水质评价中通过医疗应用评价、饮用矿泉水评价、生活饮用水评价等方面对地热资源的应用类型进行分析评价, 其中医疗应用评价中对地热水的机械、温度、化学成份等的医疗作用进行评价。

**【关键词】** 地热资源; 开采量; 水质; 应用类型

**【中图分类号】** P 341.1

**【文献标识码】** B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.002

## Evaluation of the Exploitation of Geothermal Resources in Beijing Region

Lin Ye

(The Geotechnical Institute of Beijing Aerospace, Beijing 100070, China)

**【Abstract】** Geothermal is the heat resources from inner earth that can be exploited for our daily life usage. They are eco-friendly energy sources that can be utilizable for industry and agriculture, with huge market potential. It is also a relatively clean alternative energy. Evaluation of the geothermal exploration will help the relevant regions to the effectively utilization. In this paper, taking a geothermal well in Beijing as an example, geothermal resources are evaluated by the hot temperature, mineral content, extraction, water quality and so on. In water quality evaluation, application types of geothermal resources are analyzed and evaluated by the medical evaluation, drinking mineral water evaluation, drinking water evaluation. In medical applications, medical effects on the human body are evaluated from the mechanical, temperature, chemical composition of geothermal water. This paper not only provides information on comprehensive utilization of geothermal resources for geothermal well, but also for the relevant areas as well.

**【Key words】** geothermal resources; extraction; water quality; application types

### 0 引言

地热资源是一种清洁的能源, 地热水是集水、热、矿于一体, 具有独特的不可代替的可再生资源。目前已广泛应用于地热采暖、保健、康复医疗、洗浴、娱乐等方面, 取得了良好的社会效益和经济效益, 具有较好的发展潜力和前景<sup>[1-3]</sup>。

针对现已发现的地热资源, 如何评价、开采与否、开采后应用于哪些方面、开采后能否满足计划应用的需求等等一系列问题都是地热资源开采决策中所必须解决的<sup>[4-5]</sup>。通过对地热井水质、开采量、开采权益保护等内容的评价, 可以为地热资源应用规划提供定量的参考值, 为地热资源综合有效地利用提供有力的支持<sup>[6-11]</sup>。

本文以北京市国子监地区某地热井为实例, 对地热井的水质、开采量和应用类型等进行了评价, 这些评价既对该项目本身的地热资源综合利用提供资料, 又为同类工作提供了有益的借鉴。

### 1 地热概况

地热井处于研究程度较高的北京地热田北部, 地表被第四系所覆盖。井深 100 m 处温度 29.26 °C, 3 694 m 处温度 89.6 °C, 第四系的亚粘土、粘土层, 第三系的含砾含粗砂泥岩, 白垩系中灰、深灰色泥岩, 均属保温盖层。表 1 为地层中地热变化表, 从表中可以看出, 白垩系泥岩保温效果较好, 地温梯度为 2.45 °C/100 m。本井储层为蓟县系雾迷山组燧石条带白云岩, 岩石属于碳酸盐岩, 质脆, 受构造和

地下水作用,易产生岩溶裂隙,利于地下水迳流和赋存。本段测温曲线较平直,顶板处温度 81.91 °C,孔底温度 89.60 °C,地温梯度为 1.86 °C/100 m。

表 1 地层中地热变化表

地层	主要岩性	深度/m	温度变化 /°C	地温梯度 /(°C·(100m) <sup>-1</sup> )
第四系	亚粘土、粘土、砂砾岩	0~129.5		
第三系	泥岩及砂砾岩	129.5~918	29.38~ 33.93	0.53
白垩系	泥岩,粉砂质、砂质泥岩	1145~2175	35.29~ 60.49	2.45

## 2 地热资源评价

### 2.1 地球化学温标计算<sup>[12-14]</sup>

地球化学温标建立的基础是地热流体与矿物在一定温度下达到化学平衡,在随后地热流体温度降低时,即流体到达地表期间仍被保存下来,这样在地表所采集的样品仍然保存了深部化学平衡信息,因此地热井可以利用地球化学温标来计算热储温度。

各种化学成分和同位素组成而建立的地热温标类型很多,各种温标都有自己的适用条件。其中钾镁地热温标代表不太深处地热贮集层中的地热动力平衡条件,尤其适用于中低温地热田,故采用钾镁地热温标进行计算,公式如下:

$$t = \frac{4.418}{13.98 - \lg(k^2/M_g)} - 237.15 \quad (1)$$

式中:  $t$  为热储温度, °C;  $k$  为水中钾的含量, mg/l;  $M_g$  为水中镁的含量, mg/l。

依据地勘报告,水中  $K^+$  离子含量为 42.8 mg/l,  $Mg^{2+}$  离子含量为 13.0 mg/l, 计算钾镁温标为 136.28 °C, 略高于井底实测温度。首先反映本区盖层条件较差,保温作用不太好而产生二者的差距;其次说明地层深部可能有温度较高、具有一定勘探和开发远景的地热资源。

本井物探测井孔底温度为 90 °C,出水温度为 69 °C,说明出水层主要分布在出水段的上部,因此出水温度较下部低许多;另外本井深度较大,出水量较小,地热水在向上运移过程中有大量的热量损失,因此出水温度较井底及出水段温度低也是符合客观规律的。

### 2.2 开采量计算与评价

地热资源的开采量是地热资源评价中所必需的一项内容。合理准确的地热资源开采量评价是地热资源应用规划的基础,是地热资源合理有效应用的前提。

本例中,规划地热开采 100 年,则其所排放的总热量可用下式进行计算:

$$Q_w = 36\,500 \cdot Q \cdot C_w (t_w - t_0) \quad (2)$$

式中:  $Q_w$  为热水井开采 100 年所排放的总热量, kcal;  $Q$  为热水井日开采水量, 519.18 m<sup>3</sup>;  $C_w$  为热水井平均热容, 982.76 kcal/m<sup>3</sup>°C;  $t_w$  为地热水的平均温度, 69.3 °C;  $t_0$  为地热常温带温度, 16 °C。

地热井开采利用热储层单位面积可开采的热储量可用下式进行计算:

$$Q_r = K \cdot H \cdot C_r (t_r - t_0) \quad (3)$$

式中:  $Q_r$  为地热井开采利用热储层单位面积可采热储量, kcal/m<sup>2</sup>;  $K$  为热储层地热采收率, 碳酸盐岩取 0.15;  $H$  为热水井所利用的热储层厚度, 440.88 m;  $C_r$  为热储层平均热容量, 594 kcal/m<sup>3</sup>°C;  $t_r$  为热储层地热平均温度, 79.2 °C。

依据地热井地质剖面,本地热井稳定日出水量 519.18 m<sup>3</sup>,出水温度为 69.3 °C 时,用公式(2)计算出开采 100 年所排放的总热量为 9.926 × 10<sup>11</sup> kcal,基于公式(3)利用热储层单位面积可开采的热储储量为 2.483 × 10<sup>6</sup> kcal/m<sup>2</sup>。

### 2.3 水质评价

#### 2.3.1 医疗热矿水评价

依照《天然矿泉水地质勘探规范》(GB/T 13727—92)中的医疗矿泉水水质标准,对地热水水质进行评价。

##### 1) 水化学类型

本井地下热水 pH 值为 7.33,属于中性水;矿化度为 2.38 × 10<sup>3</sup> mg/l,属微咸水;总硬度(以 CaCO<sub>3</sub>)为 112 mg/L,属软水;热水中主要阴离子为 Cl<sup>-</sup>(含量 521 mg/l,毫克当量百分数为 42.8%),其次为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(含量 747 mg/l,毫克当量百分数为 35.7%);主要阳离子为 Na<sup>+</sup>, (含量 702 mg/l,毫克当量百分数为 90%)。由此可见,本井地下热水水化学类型为 Cl<sup>-</sup> · HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Na<sup>+</sup>(氯重碳酸钠)型水。

##### 2) 热矿水类型

本井热水中氟含量为 15.8 mg/l,偏硅酸含量为 86.8 mg/l,水温 69.3 °C,已达到规范中命名的矿水浓度(氟 ≥ 2 mg/l,偏硅酸 ≥ 50 mg/l,水温 ≥ 34 °C),可命名为氟、偏硅酸型温泉水。另外偏硼酸含量 35 mg/l,已达到有医疗价值的矿水浓度(≥ 5 mg/l),未达到命名矿水浓度(≥ 50 mg/l)。本井热水中还含有锂(0.663 mg/l)、溴化物(1.05 mg/l)、锶(1.0 mg/l)、锰(0.143 mg/l)等对人体有益的微量元素

素。而有害元素氰化物( $<0.001 \text{ mg/l}$ )、汞( $<0.000 05 \text{ mg/l}$ )、铅( $<0.000 8 \text{ mg/l}$ )等,含量极少,均在允许范围之内,对人体不会产生不利影响。

### 3) 矿泉浴的医疗作用<sup>[15]</sup>

#### ① 机械的医疗作用

在热矿水中浸浴时,能够显著减轻运动器官的负担,减轻因肌肉弛缓、神经痛、关节软组织病变引起的关节运动障碍病人的障碍程度;还可以使肌肉张力和能量代谢下降,故能缓解痉挛及疼痛,有助于关节功能的恢复。

另外,热矿水的静压和摩擦作用,对淋巴淤积、浮肿、关节肿胀有良好的促进吸收消肿的疗效,温和地刺激能产生良好的镇静止痛作用,皮肤血管扩张后血液循环得到改善,从而调节了皮肤的新陈代谢、呼吸及机体的内脏功能。

#### ② 温度的医疗作用

矿泉水温度为 $34\sim 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,长时间的浴疗对神经系统有明显的镇静作用,温度在 $37\sim 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,浴疗有促进胆碱解的效应,兴奋副交感神经系统,血管扩张,脉搏加速,心搏出量增加,血流加快,心动强度增加,血压下降,皮肤温度升高,皮肤电阻下降,基础代谢旺盛,胃肠蠕动增强,胃液分泌开始由增多逐渐减少。循环血液增加,呼吸频率增加。

#### ③ 化学成分的医疗作用

热水中大部分化学成分处于离子状态,容易透过皮肤进入体内发生化学的变化,继而在全身发生系统的变化而发挥作用。

氟水洗浴对银屑病疗效很好,还可强壮骨骼;偏硅酸浴对皮肤及粘膜有洁净洗涤消退作用,治疗牛皮癣、瘙痒症,附件炎等粘膜疾病。偏硼酸具有消炎止痛、促进伤口愈合的作用;热水中氯离子和钠离子含量较高,浴用时对减轻创伤、痔核和皮肤病有良好的作用,还有湿润皮肤、促进机体各种代谢的作用。

### 2.3.2 饮用矿泉水评价

本井中锶含量 $1.0 \text{ mg/l}$ ,偏硅酸含量为 $86.8 \text{ mg/l}$ ,达到《饮用天然矿泉水标准》(GB 8537—1995)规定的界限指标(锶 $\geq 0.20 \text{ mg/l}$ ,偏硅酸 $\geq 25.0 \text{ mg/l}$ ),但氟化物含量为 $15 \text{ mg/l}$ ,偏硼酸含量为 $35.0 \text{ mg/l}$ ,超过了《饮用天然矿泉水标准》规定的界限量指标(氟化物 $< 2.0 \text{ mg/l}$ ,硼 $< 30.0 \text{ mg/l}$ ),不能直接饮用。

### 2.3.3 生活饮用水评价

将本井热矿泉水水质检验报告与国家《生活饮

用水卫生标准》(GB 5749—2006)对比进行评价。

本井热水中毒理指标氟含量为 $15.8 \text{ mg/l}$ ,超过《生活饮用水卫生标准》(氟化物含量 $1.0 \text{ mg/l}$ )要求。本井热水的水质常规指标中,铁含量为 $3.60 \text{ mg/l}$ ,氯含量为 $521 \text{ mg/l}$ ;水质非常规指标中,钠含量为 $702 \text{ mg/l}$ ,超过《生活饮用水卫生标准》(铁含量 $0.3 \text{ mg/l}$ ,氟化物含量 $250 \text{ mg/l}$ ,钠含量 $200 \text{ mg/l}$ )要求。

总之,本井热水中虽然其它水质常数指标符合要求,但氟、铁和氯化物超过《生活饮用水卫生标准》(5749GB—2006)的限制要求,因此认为不适于饮用。

### 2.4 地热资源综合评价

本地热井深度为 $3700.88 \text{ m}$ ,热储主要为蓟县系雾迷山组碳酸盐岩,日出水量达 $519.18 \text{ m}^3$ ,出水温度为 $69.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,所需热田面积为 $3.998 \times 105 \text{ m}^2$ ,估算地热影响半径约 $360 \text{ m}$ ,故本井的保护半径应大于 $720 \text{ m}$ 。热水中温度氟和偏硅酸含量达到医疗矿泉水命名标准,偏硼酸含量达到有医疗价值的浓度,氯和钠离子含量较高,地热水可用于医疗保健、洗浴、娱乐和供暖等,为了有效利用本资源,应梯级使用。

在该地区再进行地热开采时,地热井井距最好大于保护距离 $720 \text{ m}$ ;排放热水时将氟含量降低(小于 $1.0 \text{ mg/l}$ ),并降低水温( $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),以减少对环境的污染。

## 3 结论

本文以北京某地热井为例,对地热资源进行了评价。对地热资源评价需从地热温度、矿物质含量、开采量及水质进行了评价。其中水质评价中需对地热资源的应用类型进行分析评价,如医疗应用评价、饮用矿泉水评价、生活饮用水评价等。医疗应用评价还需对机械、温度、化学成份等的医疗作用进行评价。

### 参 考 文 献

- [1] 申建梅,张宏达,陈宗宇,等. 地热资源管理与可持续发展[J]. 地球学报,2000,21(2):140-141.
- [2] 关凤峻,陈小宁,李继江. 中国地热能开发的成就与展望[J]. 地热能,2010(6):3-8.
- [3] 廖忠礼,张予杰,陈文彬,等. 地热资源的特点与可持续开发利用[J]. 中国矿业,2006,15(10):8-11.

(下转第13页)

难得出,位于土层中的第一道和第二道支撑其轴力明显比位于岩层中的第三道支撑轴力大得多,轴力的大小实际反映的是基坑周围岩土层侧向变形的程度。由此可得,土层的变形较岩层的变形更大,是基坑工程中应重点关注的内容。

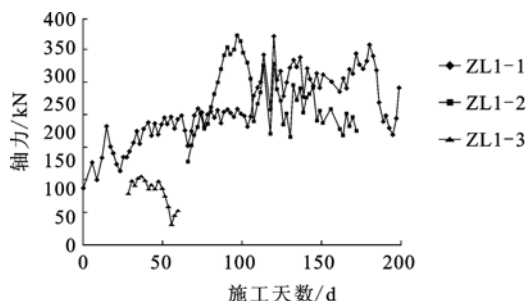


图5 ZC1处钢支撑轴力-时间实测曲线图

#### 4 结 论

通过对基坑周围岩土体侧向水平位移和基坑内支撑轴力的监测,可以得到如下结论:

1)对于不同的地层,土层和岩层在基坑开挖和基础施工过程中的侧向水平变形程度相差较大,且不同状态的土层侧向水平变形程度亦不相同。

2)由于土层相对于岩层侧向变形较大,其支护时所表现出来的内支撑轴力亦比较大。

3)对于基坑周围不同的地层,进行支护方案选择时应根据不同地层的变形性质进行合理优化的设计,对土层和岩层可采取不同的支护形式,以到达既安全又经济的目的。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 孙 钧. 城市环境土工学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2005.
- [3] 龚晓南. 基坑工程实例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 王建华,徐中华,陈锦剑,等. 上海软土地区深基坑连续墙的变形特性浅析[J]. 地下空间与工程学报, 2005,1(4):485-489.
- [5] 贾彩红,杨国忠,张雪颖. 苏州地铁超宽超深基坑工程监测与分析[J]. 铁道建筑,2010(10):61-65.
- [6] 李元海,朱合华. 岩土工程施工监测信息系统初探[J]. 岩土力学,2002,23(1):103-106.
- [7] 杨国祥,李 侃,赵锡宏,等. 大型超深基坑工程信息化施工研究[J]. 岩土工程学报,2003,25(4):483-487.

收稿日期:2011-11-22

(上接第8页)

- [4] 田廷山,李明朗,白 冶. 中国地热资源及开发利用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.
- [5] 汪集旸,龚宇烈,马伟斌,等. 我国发展地热能面临问题的分析及建议[J]. 地热能,2011(6):14-17.
- [6] 刘冬生,孙友宏. 浅层地能利用新技术—地源热泵技术[J]. 岩土工程技术,2003(1):57-59.
- [7] 马如凤,林 黎,王颖萍,等. 天津地热资源现状与可持续性开发利用问题 [J]. 地质调查与研究,2006(3):222-228.
- [8] 任书才,赵 虹,张中祥,等. 山东省地热资源特征及勘查对策[J]. 地热能,2006(6):21-22.
- [9] 高 柏,孙占学,刘金辉. 江西省地热温泉开发利用与保护[J]. 水资源保护,2006,22(2):92-94.
- [10] 袁玉松,马永生,胡圣标,等. 中国南方现今地热特征[J]. 地球物理学报,2006,49(4):1118-1126.
- [11] 王奎峰. 山东莘县凹陷(聊城段)地下水化学特征及成因[J]. 岩土工程技术,2009(2):90-94.
- [12] 陈文林. 应用地球化学温标估算热储温度[J]. 闽煤地勘,2000(1):29-32.
- [13] 周立岱. 中低温地热系统形成机制及评价研究[D]. 沈阳:辽宁工程技术大学,2005.
- [14] 赵 璐,邬 立,罗湘赣. 由地球化学温标推算贵阳市乌当区地热田热储温度[J]. 工程勘察,2010(S1):832-836.
- [15] 王绍林,姚 强,李文章. 矿泉对人体某些生理作用的研究进展[J]. 中国疗养医学,2003,12(2):82-84.

收稿日期:2011-11-09