

# 山东沾化滨海地区浅层地下 卤水矿层特征及形成条件

张新文<sup>1</sup>, 胡松涛<sup>2</sup>, 胡彩萍<sup>1</sup>, 张学斌<sup>2</sup>

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

**摘要:**山东沾化滨海地区地下卤水为古浓缩海水封存而成。浅层地下卤水主要赋存在40 m深度以上的粉砂和粉土层中,垂向上分为2个矿层,总厚度9.9~33.7 m,矿化度50.0~99.7 g/L,水位埋深1.2~4.3 m,单位出水量10.42~58.94 m<sup>3</sup>/(d·m),富水性中等,动态较为稳定。卤水开发利用应合理规划,避免资源浪费,注重综合利用和环境保护。

**关键词:**卤水;浅层地下水;形成条件;山东沾化

**中图分类号:**P611.4<sup>+</sup>1

**文献标识码:**A

地下卤水(矿化度 $\geq 50$  g/L的地下水)主要用来提取食盐和各种工业原料,从卤水中除提取NaCl, KCl, MgCl, MgSO<sub>4</sub>外,还可提取Br, B, I, Sr, Li等,具有较高的工业价值和综合开发价值<sup>[1]</sup>。第四纪以来几次海侵,在山东省滨州市无棣、沾化和东营市广利港及潍坊市的寿光、昌邑、寒亭一带形成环渤海浅层地下卤水矿带。

## 1 卤水矿区地质概况<sup>①②</sup>

### 1.1 浅层地下卤水分布范围

滨州市沾化县境内松散岩类孔隙水分为浅层淡水、深层淡水、浅层-中深层咸水-盐水和浅层卤水,含水层主要岩性为细砂-粉砂。

浅层淡水多呈岛状分布于县城南部,水位埋深2~4 m,淡咸水界面埋深小于20 m,单井出水量20 m<sup>3</sup>/h左右;深层地下淡水主要埋藏在250~300 m以下,砂层厚度10~20 m,单井出水量30~40 m<sup>3</sup>/h,矿化度1~2 g/L;浅层-中深层咸水-盐水主要分布在城南浅层岛状淡水周围和城北附近卤水外围,水位埋深2~3 m,单井出水量40 m<sup>3</sup>/h左右,矿化度3

~50 g/L;浅层地下卤水分布在沾化县北部,套河以东、潮河以西、采油四矿以南及红星村以北,面积约450 km<sup>2</sup>,是环渤海第四系孔隙卤水矿带一部分(图1),地下水埋深1.2~4.3 m,单井出水量10~35 m<sup>3</sup>/h,矿化度大于50 g/L。

### 1.2 赋存特征

浅层地下卤水主要赋存于地下40 m深度内。上部卤水受大气降水入渗及咸水越流补给作用影响,卤水矿化度较低,有的地带为咸水;中部古封存卤水补给作用微弱,矿化度较高;向深部越过第四次海侵期地层,矿化度又降低,直至变为咸水,从而在高矿化度区形成卤水-咸水双层结构,较低矿化度区形成咸水-卤水-咸水三层结构。卤水和咸水间并无固定的界线,同一含水层中可能有卤水和咸水并存状态,二者界面也会随两侧压力改变而移动。

### 1.3 卤水动态变化及补、径、排特征

浅层地下卤水水位埋深1.2~4.3 m,天然状态下其水位变化,靠海一侧明显受海洋潮汐作用的制约,近陆地带则主要受大气降水影响,盐场附近还受人工开采和地面屯积海水的控制。水位年变幅在

\* 收稿日期:2008-08-05;修订日期:2009-04-06;编辑:游文澄

作者简介:张新文(1971—),男,山东禹城人,高级工程师,主要从事水工环地质工作。

①山东省地矿工程集团有限公司,山东省沾化县浅层地下卤水地质调查评价报告,2005年。

②山东省地矿工程集团有限公司,山东省沾化县滨海地区浅层地下卤水详查报告,2006年。

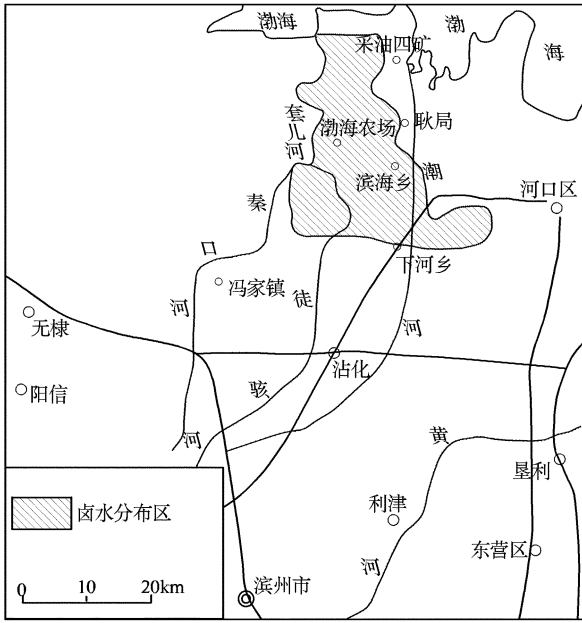


图1 浅层地下卤水分布范围及矿区位置图

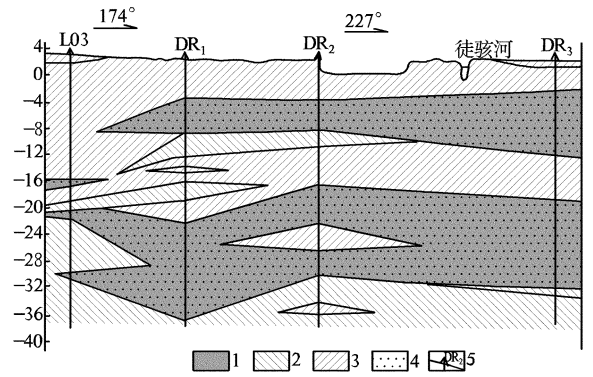


图2 卤水矿层地质剖面图

1—主要卤水矿层;2—粉质黏土;3—粉土;4—粉细砂层  
5—井孔位置

涌水量  $10.42 \sim 58.94 \text{ m}^3 / (\text{d} \cdot \text{m})$ , 富水性中等。推算 10 m 降深, 南部河贵一带单井出水量一般大于  $300 \text{ m}^3 / \text{d}$ , 滨海乡以北单井出水量  $200 \sim 300 \text{ m}^3 / \text{d}$ , 滨海乡驻地附近单井出水量  $100 \sim 200 \text{ m}^3 / \text{d}$ 。

0.4 m 左右, 变化率小于 2, 动态较稳定。

地下卤水的补给来源主要为海水在潮汐作用下的水平补给和大潮海水覆盖时的垂直入渗补给。区内地下卤水尚未开发, 天然状态下流动缓慢, 其排泄方式以蒸发为主。随着盐溴厂的陆续建立, 卤水向生产井开采漏斗区流动, 人工开采为其主要排泄途径。

## 2 卤水矿层特征

### 2.1 埋藏条件

浅层地下卤水主要赋存在 40 m 深度内粉砂和粉土层中, 垂向上分 2 个矿层。

第 I 矿层全区大面积分布, 顶界埋深 4 ~ 6 m, 底界埋深 10.5 ~ 14.0 m, 底部含卤粉砂层厚度为 3.5 ~ 9.6 m, 上部粉土层厚度为 4.4 ~ 6.0 m, 该层卤水水位和浓度受降水及地表水体影响较大; 第 II 矿层全区广泛分布, 顶界埋深 10.5 ~ 20.5 m (南部较浅, 北部较深), 底界埋深 32.0 ~ 39.3 m, 底部含卤粉砂层厚 9.5 ~ 14.8 m, 上部粉土层厚 5.2 ~ 9.5 m。矿层厚度从东南向西北逐渐减小。如南部 DR<sub>3</sub> 附近, 2 层卤水砂层总厚度达 22.8 m, 至北部仅有 1.2 m (图 2)。东西方向矿层厚度较稳定。

### 2.2 渗透性能及富水性

卤水含水层颗粒较细, 渗透性能较弱, 渗透系数  $0.035 \sim 2.396 \text{ m/d}$ , 南部较北部大。卤水矿层单位

### 2.3 物理化学特征

地下卤水略带微黄色, 味咸, 稍有苦涩感, 水温  $17.0 \sim 18.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。矿化度  $50.0 \sim 99.7 \text{ g/L}$ , 采油四矿以西一般小于  $70 \text{ g/L}$ , 向外围则为低于  $50 \text{ g/L}$  的咸水区; 向南卤水矿化度逐步增大, 在渤海农场北和滨海乡驻地附近形成 2 个中间高矿化度区, 矿化度  $70 \sim 90 \text{ g/L}$ , 渤海农场北 L05 孔高达  $99.7 \text{ g/L}$ 。再向南至河贵及其以南矿化度又降低至  $50 \sim 70 \text{ g/L}$ , 在潮河与秦口河、套儿河之间的中间地带, 矿化度自河边向中间增高 (图 3)。卤水水化学类型为 Cl - Na 型, pH 值  $7.3 \sim 10.8$ , 阴离子中  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  含量占绝对优势, 阳离子中  $\text{Na}^+$  含量占绝对优势, 卤水中  $\text{Br}^-$  含量  $125.25 \sim 178.0 \text{ g/L}$  (表 1), 部分达到工业单独提取品位 ( $130 \text{ g/L}$ )。

表 1 卤水主要离子质量浓度

离子	质量浓度 (mg/L)	摩尔浓度百分数 (%)
$\text{Na}^+$	17600.00 ~ 27500.00	76.13 ~ 79.60
$\text{Mg}^{2+}$	281.84 ~ 3751.90	7.63 ~ 21.47
$\text{Ca}^{2+}$	242.60 ~ 4141.19	1.20 ~ 14.09
$\text{K}^+$	235.00 ~ 650.00	0.71 ~ 1.52
$\text{Cl}^-$	32371.40 ~ 52113.46	91.10 ~ 93.36
$\text{SO}_4^{2-}$	3178.70 ~ 5411.10	6.59 ~ 7.97
$\text{HCO}_3^-$	109.22 ~ 744.89	0.20 ~ 1.52
$\text{Br}^-$	125.25 ~ 178.00	0.10 ~ 0.14

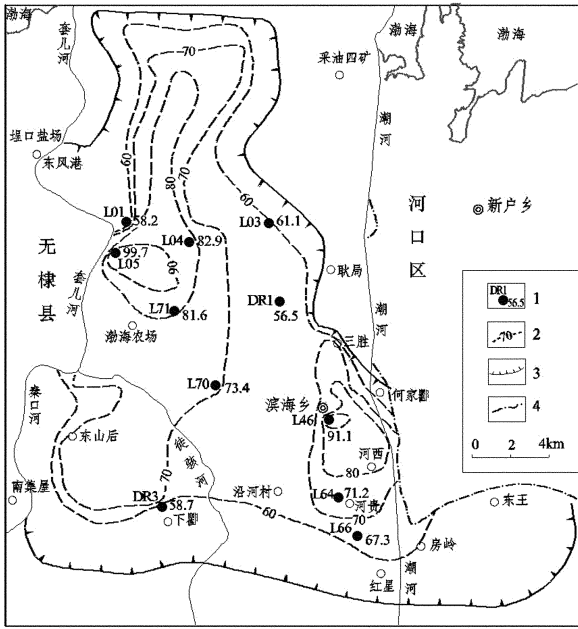


图3 卤水矿化度等值线图

1—井孔号与矿化度(g/L);2—卤水矿化度等值线(g/L);  
3—卤水矿层分布范围界线;4—行政区界线

通过对卤水和海水的水质对比,二者各离子之间的含量比例基本相同(表2):卤水矿化度较海水高2~3倍;Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>稍高于海水, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等低于海水。证明卤水是由海水浓缩蒸发而成。

表2 海水和卤水水质对比

离子	摩尔浓度百分数/%								矿化度(g/L)	
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>		
海水	2.7	74.2	3.7	19.5	90.0	9.1	0.29	0.07	29.01	
卤水	L58	0.9	75.6	3.0	20.5	92.1	7.3	0.4	0.1	87.46
	L66	1.0	76.9	1.8	20.2	92.5	7.1	0.2	0.1	60.13
	L20	1.2	78.7	1.8	20.2	92.6	6.8	0.2	0.1	63.6
	DR1	0.7	75.0	4.2	20.1	92.0	6.7	1.2	0.1	56.5
	DR3	1.1	76.4	3.8	18.7	91.1	8.0	0.8	0.1	58.7

### 3 卤水矿层形成地质条件分析及资源远景

#### 3.1 卤水矿层形成条件

浅层卤水为古浓缩海水封存而成,它的形成与大地构造运动和古地理环境紧密相连<sup>[2,3]</sup>。

##### (1)地质条件

第四纪中晚期,该区处于缓慢下降过程,2次规模较大的海进(献县海浸和黄骅海浸)、海退<sup>[4]</sup>,使本区接受了大量的海陆相沉积,松散堆积物厚度较

大,砂层孔隙度大,为卤水的形成提供了理想的空间场所和丰富的物源基础。

##### (2)气候及水文条件

沿海地带地势低平,地表水系携带泥砂于河口处堆积,形成小型泻湖、洼地及沼泽地,为涨潮海水的滞留提供了优越的地理环境;矿区具明显大陆性气候特征,多年平均蒸降比为3.52,蒸发作用强烈,为滞留海水的浓缩提供了适宜的气候条件。

滞留海水经蒸发、浓缩作用,其浓度增大形成卤水,在海陆变迁过程中被封存埋藏于地下。

### 3.2 地下卤水资源储量与资源远景

区内卤水矿层分布较稳定,采用体积法估算得卤水资源量为38 465 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,氯化钠资源量为3 919.4 × 10<sup>4</sup> t,可采量1 959.6 × 10<sup>4</sup> t;溴素资源量为9.5 × 10<sup>4</sup> t,可采量为0.47 × 10<sup>4</sup> t。

滨海矿区卤水埋藏浅,含卤层厚度大,资源量丰富,具备开发利用的资源条件。

## 4 开发利用建议

浅层地下卤水资源具有不可再生性。在资源开发利用过程中应坚持科学开发和有效保护并重的原则,使卤水资源可持续造福人类。

### 4.1 开采条件分区

依据卤水矿化度(浓度)大小,将卤水开采条件划分为卤水开发利用适宜、较适宜、较不适宜和不适宜4个区。

适宜区主要分布在矿区西部冯家镇东山后南至采油四矿西地带和滨海乡驻地附近,卤水矿化度大于70 g/L,卤水层富水性较好,单井出水量一般大于200 m<sup>3</sup>/d,适宜卤水开发;较适宜区在矿区分布面积较大,矿化度一般50~70 g/L,单井出水量一般大于200 m<sup>3</sup>/d;较不适宜区主要分布在滨海乡驻地西北部,矿化度一般50~70 g/L,单井出水量小于200 m<sup>3</sup>/d。不适宜区分布在滨海乡三胜村一耿局以北及采油四矿北部、西北部,矿化度小于50 g/L,不适宜开发。

### 4.2 科学规划

确定合理的井距、井深和允许开采量,避免发生资源争夺及掠夺式开采。根据卤水资源的分布特点和埋藏特征,卤水生产井间距以300~400 m,井深

以40 m为宜,单井开采量控制在 $150\text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 4.3 综合利用与环境保护

促进盐矿产品深加工,提高资源综合利用率。积极推进盐溴联产,严格控制盐溴生产比例,杜绝卤水排空浪费现象。增加产品的高科技含量和附加值,提高卤水综合利用水平。资源开发过程中,要注重综合利用和环境保护,发展循环经济,实现效益梯次性增长。

### 参考文献:

- [1] 孔庆友,张天祯,徐军祥,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006.
- [2] 韩有松,孟广兰,王少春,等. 中国北方沿海第四纪地下卤水[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [3] 宋明春,王沛成. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社,2003.

## Strata Characteristics and Forming Condition of Shallow Underground Brine in Coastal Areas of Zhanhua County in Shandong Province

ZHANG Xin-wen<sup>1</sup>, HU Song-tao<sup>2</sup>, HU Cai-ping<sup>1</sup>, ZHANG Xue-bin<sup>2</sup>

(1. No. 1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Underground brine in coastal areas of Zhanhua county is formed by sealing ancient concentrated sea water. Shallow underground brine is mainly existed in silt and powder layers with the depth of 40m. It is divided into two strata in the vertical direction. Its total thickness is 9.9 ~ 33.7m, salinity is 50.0 ~ 99.7g/L, water depth is 1.2 ~ 4.3m, and average water amount is  $10.42 \sim 58.94\text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$ . Water concentration is in medium level and dynamic mode is rather stable. The development and utilization of brine should be planted reasonably to avoid waste of resource, pay attention to complicated and brine utilization protect environment.

**Key words:** Brine; underground water in shallow part; forming condition; Zhanhua in Shandong province