

黄河三角洲高效生态经济区 卤水资源开采潜力评价

林存菊¹,姚英强²,付娟²

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

摘要:黄河三角洲高效生态经济区卤水资源较为丰富, 历经几十年的集中开采后, 已出现卤水开采水位下降、卤度及有益离子含量下降等问题, 该文在核算研究区卤水资源量的基础上, 结合开发利用现状进行了开采潜力评价, 以为当地卤水资源开采规划提供科学依据。

关键词:卤水资源; 资源量核算; 开采潜力评价; 高效生态经济区; 黄河三角洲

中图分类号: P64

文献标识码: B

地下卤水是指矿物质含量较高(矿化度 $> 50\text{g/L}$)的地下水, 是一种液态沉积矿藏。主要包括: 内陆沉积盆地中的深层古卤水、现代盐湖卤水、沿海区域的第四纪滨海相地下卤水^[1]。第四纪滨海相地下卤水是近几十年来被认识的一种新类型卤水盐矿床, 在我国北方沿海主要分布在渤海沿岸及部分黄海岸段, 山东省内以黄河三角洲高效生态经济区沿海分布最广, 浓度最高, 储量最大。目前开发的主要是浅层卤水(埋深 100 m 以浅), 也是该文的研究对象。

1 浅层卤水资源特征

黄河三角洲高效生态经济区卤水资源主要分为 2 部分: 一部分是位于滨州的无棣—沾化沿海区域, 其范围是无棣的东北部, 沾化的北部(以下称北部区域), 面积 $1\,067\text{ km}^2$; 另一部分跨东营、潍坊、烟台 3 市, 位于东营区、广饶县、寿光市、寒亭区、昌邑市、莱州市的沿海区域, 范围东起莱州市沙河, 西至东营区的广利河, 南达昌邑新河及寿光岔河一带, 北至海岸面积 $1\,964\text{ km}^2$ (以下称南部区域), 研究区总面积约 $3\,031\text{ km}^2$ 。

1.1 空间分布特征

浅层地下卤水分布存在明显的规律, 在垂直海

岸线方向, 地下卤水浓度分布具有明显的分带性。由海向陆地呈低—高一低的变化规律, 依此变化可将地下卤水水平方向上分为 3 个平行于海岸线的条带^[2]: ①近岸低浓度带, 即现代海水潮汐作用频繁地带, 此带宽约 4 ~ 8 km, 带中卤水浓度一般低于 $10^\circ\text{Be}'$ 。②中间高浓度带, 宽约 5 ~ 10 km, 带中心连线距海岸约 10 ~ 15 km, 带内卤水浓度一般在 $7 \sim 10^\circ\text{Be}'$ 左右, 是目前地下卤水的主要开采区。③远岸低浓度带, 宽约 5 ~ 20 km, 带内卤水浓度为 $5 \sim 7^\circ\text{Be}'$ 。

平行海岸线方向, 研究区东段烟台地区最高 $12.1^\circ\text{Be}'$, 潍坊次之为 $11.22^\circ\text{Be}'$, 研究区西段东营和滨州均相对较低为 $7.37^\circ\text{Be}'$, $7.19^\circ\text{Be}'$ 。垂向上, 地下卤水呈分层分布, 储层结构与当地几次大的第四纪海侵地层分布相一致, 卤水浓度最高的是从 28.0 ~ 55.0 m 的垂直区间中, 卤水浓度为 $10 \sim 16.5^\circ\text{Be}'$, 往上、往下浓度依次降低^[3]。

1.2 卤水物理化学特征

区内浅层地下卤水一般呈无色透明或淡黄色, 局部因 Fe 含量高而成棕黄色, 具咸味微苦涩, 承压卤水层呈封闭状态, 故其卤水温度较稳定, 一般常年温度在 $14 \sim 16^\circ\text{C}$ 之间。地下卤水 pH 值一般在 $6.5 \sim 7.6$ 之间。水化学类型为 C1 - Na 型, 并且含有多

种微量元素,主要有溴、碘、锂、硼、铷等^[4]。

1.3 卤水补排特征

区内地下卤水的补给来源主要来自大气降水和海水,其水量补给是相对充足的,除强开采区因开采强度过大,中心水位下降比较明显外,其余盐场静水位埋深一般不超过5 m,但各盐场目前在盐分补给方面均出现负均衡^[5]。研究区所处的水文地质条件决定了天然状态下卤水径流非常缓慢,地下卤水的径流主要是由生产引起的,在卤水大量开采时,地下卤水的水位改变,形成开采漏斗,由高水位径流向低水位处即盐场周围卤水或咸水向开采中心汇流。地下卤水的排泄主要方式是人工开采,其次是蒸发排泄。

1.4 卤水水位水质动态变化特征

卤水水位除受气象、水文影响外,人工开采是主要的影响因素,一般雨季因降雨补给量大和采卤量小水位偏高,而春秋季节因采卤量较大水位下降。通过对区内地下卤水年内动态监测资料来看,地下卤水的最高水位一般出现在每年的7—9月份(图1)。多年动态监测发现,近年来地下卤水的水位是呈连年下降的趋势,如广饶盐场的开采动水位埋深已由2008年的34 m左右下降至40 m左右^[6]。

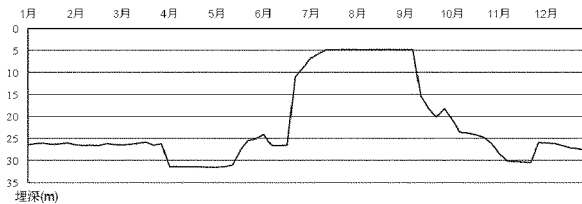


图1 浅层卤水埋深动态变化图(东营八分场2009年)

研究发现,卤水的水化学类型为Cl-Na,而咸水的水化学类型为Cl-Na·Ca型,即咸水中钙离子含量比卤水要大,通过多年来的卤水水质监测发现:近十年来卤水中Cl⁻,Mg²⁺,Na⁺的含量逐渐下降,而Ca²⁺离子含量则逐渐上升。这也间接证明了卤水浓度存在逐渐降低趋势。

2 浅层卤水资源开采现状

近几年各地区对辖区盐场进行大量整合,而且随着各地滨海区的开发建设,大量盐滩被掩埋开发,据山东省盐业集团统计,2013年仅潍坊地区开发土地占用盐田达29 km²,导致卤水开发企业呈现减少的趋势。

区内卤水资源以潍坊一带储量和规模为最,东营次之,烟台、滨州规模相对较小。其中潍坊有卤水企业94家,约有卤水井11 500口,卤度平均10°Be'左右,年产原盐1 000~1 300万t,年抽取卤水27 600万m³(根据卤水的卤度数值对应可产1 t原盐反推而来的理论数值,下同);东营有卤水企业3家,约有卤水井1 500口,卤度平均7°Be'左右,年产原盐100~150万t,年抽取卤水3 500万m³;烟台卤水资源集中在莱州市土山镇分布,有卤水企业9家左右,约有卤水井750口,卤度11~12°Be',年产原盐50~100万t,年抽取卤水1 725万m³;滨州卤水企业20家左右,约有卤水井1 800口,卤度平均7°Be'左右,年产原盐100~200万t,年抽取卤水4 200万m³。

卤水开采时间主要取决于降水、下游化工产品价格、盐场库存等因素,一般雨季停工,旱季强抽水,其余时段部分抽水(图2),5月和9月集中出盐。

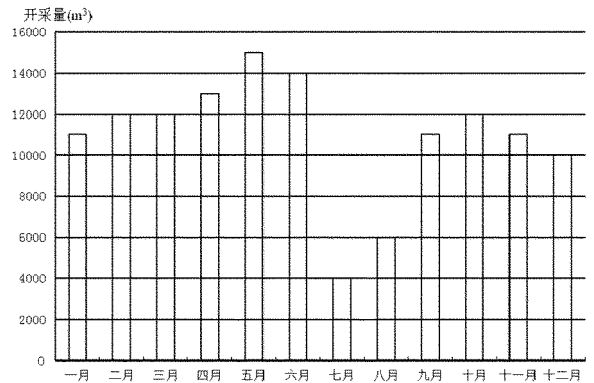


图2 王岗盐场卤水月开采量

3 浅层卤水资源量核算

卤水资源从开采和加工的不同阶段上看,可以表现为2种资源:①在开采阶段是液体矿产资源,以地下水的形式存在,但是地下水的矿化度必须达到一定的标准;②加工阶段是固体矿或特殊溶液资源,以结晶盐矿、元素粉末或专门溶液形式存在,反映真实的可利用矿物资源。考虑到上述特征,对卤水储量的评价分为液态卤水资源和固态矿物资源2个部分。

3.1 计算方法

3.1.1 液态卤水资源储量计算方法

以矿化度大于50 g/L的卤水作为储量计算对象,卤水资源储量计算的基本公式为:

$$V = \mu \cdot V^* \quad (1)$$

式中: V, V^* —卤水资源储量, 卤水体体积, m^3 ; μ —有效的给水度或孔隙度; 在具体计算时, 可以用下式计算:

$$V = \sum \Delta h_i \cdot \mu_i \cdot A_i \quad (2)$$

式中: Δh_i —卤水含水层的厚度; μ_i —各类岩石的给水度或有效孔隙度; A_i —卤水体的分布面积。

卤水开采过程中, 含水层被开采部位的卤水抽取到地表, 而矿区周围的低矿化度地下水在降落漏斗的驱动下逐渐取代矿区边缘的卤水, 这是一种主动驱替作用。被抽取的卤水主要来自强透水的砂层, 粘性土层渗透性很小, 对流作用微弱, 并且已经在地质历史时期发生了压密释水作用, 此时对卤水资源的贡献基本可以忽略。因此, 上述卤水资源储量的评价只考虑砂层中的地下水, 不考虑粘性土层。

3.1.2 固态矿物资源储量计算方法

结晶盐矿资源的储量采用下述基本公式计算:

$$M = \mu \cdot F \cdot H \cdot C / 1000 \quad (3)$$

式中: M —结晶盐矿资源储量, t ; F —卤水分布面积, m^2 ; μ —有效的给水度或孔隙度; H —卤水含水层的厚度; C —卤水矿化度, g/L 。

3.2 选取计算参数

该次建模依据评价区历年来的钻探资料和本次工程勘察资料。南部区域共计利用实际钻孔 200 个, 为进一步完善评价区的地质结构模型, 在钻孔较少或者无钻孔区域, 根据研究区地质、水文地质条件虚拟钻孔 8 个, 将钻孔资料导入 GMS, 由软件进行插值计算后, 生成了地质结构实体 (Solid), 建立了地质结构模型^[7]。

3.2.1 含水层厚度的确定

根据已建立的三维地质结构模型, 结合各块段 (县市区) 内钻孔所揭示地下卤水含水层统测其厚度, 取平均值, 即求得各块段地下卤水含水层的平均厚度。

3.2.2 给水度的确定

该次资源储量估算给水度的数值紧密结合该区地下卤水含水层特点, 根据取样和实验测定结果, 进行统计而确定的。共取样 78 件, 其中, 中、粗砂 7 件、粉砂及细砂 36 件和粉质粘土 35 件。测定结果: 中粗砂平均给水度为 0.227, 粉砂、细砂为 0.148, 粉质粘土为 0.069。按各块段钻孔揭示的地下卤水层

的岩性, 根据地下卤水层中、粗砂和粉砂、细砂所占的比例和给水度测定结果, 确定各块段地下卤水含水层的给水度, 并且利用 GMS 中 Modflow 模块对所给定给水度进行参数验证, 最终得出各区的给水度值。

3.2.3 各区面积的确定

卤水资源量估算面积是在 1:10 万资源量估算平面图上, 采用 MapGIS 地理信息系计算 (县市区) 块段陆地和潮间带地下卤水区圈定的资源量估算范围面积, 两次测定取其平均值。

3.3 资源量核算结果

经计算, 研究区卤水总资源量为 756 012.47 万 m^3 。南部区域卤水资源量为 627 789.45 万 m^3 , NaCl 可开采资源量为 17 061.1 万 t , Br 可开采资源量为 37.41 万 t ; 北部区域卤水资源总量达到 128 223.02 万 m^3 , NaCl 可开采资源量为 3 459.46 万 t , Br 可开采资源量为 8.38 万 t 。

4 浅层卤水资源开采潜力评价

卤水中的矿物资源是赋存于地下水中的一种矿产, 其开采具有流动性, 卤水开采后虽然会有水量补给但矿物资源基本不会得到补给, 因此其可近似视为静态储量, 不具有可再生性, 从这个意义上讲, 除发现新的外围或深部资源, 在现有资源基础上应不存在进一步的开采潜力。所以该次工作进行的开采潜力评价仅是在参照一般行业经济发展规律的基础上在设定年限内进行的评价。

4.1 评价分区

为便于不同行政区域属地管理, 将研究区根据开采现状划分为 4 个区 (图 3), 分别是: I 区, 东营市境内卤水开采区, 包括广饶县、东营区; II 区, 潍坊市境内卤水开采区, 包括昌邑市、寿光市、寒亭区、滨海区; III 区, 烟台市境内卤水开采区, 主要为莱州市; IV 区, 滨州市境内卤水开采区, 包括无棣县、沾化县 (表 1)。根据该次调查并结合前人资料分析确定开采系数为 0.7。

根据研究区资源总量结合现状开采量计算得出: 研究区卤水资源静态开采年限为 14.29 年, 由表 1 可以看出, 按现状开采量, I, II, III, IV 区的静态开采年限分别为: 18.07 年、12.89 年、11.73 年、21.37 年。

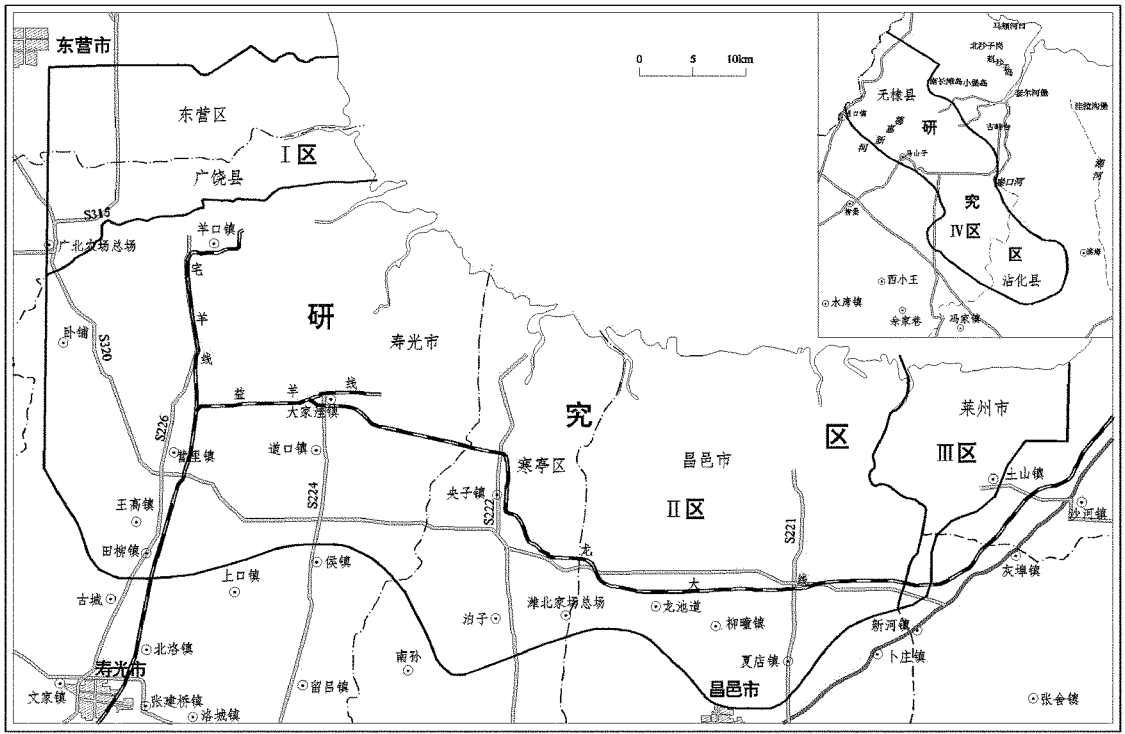


图3 研究区浅层卤水开采潜力评价分区图

表1 浅层卤水资源开采潜力评价分区

评价分区	区域	面积/ km ²	开采井/ 口	开采量 万 m ³ /a	资源储量 万 m ³	可采资源 量/(万 m ³)
I	东营	407.57	1500	3500	90336.74	63235.72
II	潍坊	2353.01	11500	27600	508551.8	355986.3
III	烟台	240.55	750	1725	28900.91	20230.64
IV	滨州	689.76	1800	4200	128223.02	89756.11

4.2 开采潜力计算

对于上述不同分区进行卤水开采潜力分析,可依据地下水开采潜力指数 R 作为判定标准,其计算公式:

$$R = W_{允} / W_{采} \quad (4)$$

式中: R —开采潜力指数; $W_{允}$ —卤水资源允许开采量(万 m³/a); $W_{采}$ —卤水现状开采量(万 m³/a)

R 值的判别指标如下: $R > 1.2$ 为有开采潜力,可扩大开采; $1.2 \geq R \geq 0.8$ 为采补平衡; $R < 0.8$ 为潜力不足,已超采。

4.2.1 允许开采量的确定

野外工作中通过与不同卤水开采企业的有关卤水开采行业前景的探讨,并结合我国企业经济发展的一般规律,确定卤水开采总年限为50年。据调查,南部区域地下卤水开采自1980年逐渐开始,因此按该次资源量核算数据年(2013年)开始向后推算,南部区域卤水资源剩余开采年限为17年。北部

区域地下卤水开采自2000年逐渐开始,其剩余开采年限为37年。

按上述数据推断,各区的允许开采量分别为: I区3719.74万 m³/a, II区20940.37万 m³/a, III区1190.04万 m³/a, IV区2425.84万 m³/a。

4.2.2 现状开采量

由于研究区卤水开采企业众多,且缺乏统一管理,开采量调查困难。现状开采量依据山东盐业公司统计的各区原盐产量结合卤水浓度反推得来: I区3500万 m³, II区27600万 m³, III区1725万 m³, IV区4200万 m³。

4.3 开采潜力评价

根据各区卤水允许开采资源量和现状开采量,计算出 R 值(表2)。由表2可以看出: II区、III区、IV区已处于超采状态,应严格控制并调整开采。I区现状为采补平衡,应适当控制并调整开采。

表2 各区卤水资源开采潜力分析结果

分区	区域	现状开采量/ 万 m ³ /a	允许开采量 万 m ³ /a	开采潜力 指数/ R	评价结果
I	东营	3500	3719.74	1.06	采补平衡
II	潍坊	27600	20940.37	0.77	已超采
III	烟台	1725	1190.04	0.69	已超采
IV	滨州	4200	2425.84	0.58	已超采

5 结语

卤水资源近似可视为不可再生资源,目前的卤水开采处于静消耗状态,在未探明新储量的情况下,该资源最终必然会消耗殆尽失去开采价值。因此原则上浅层卤水资源开采潜力评价仅是对企业发展年限内(50年)进行的评价与约束。

经评价确定,研究区内东营市卤水开采区为控制开采区,该地区处于采补平衡状态。按目前开采量可在规定年限内保证开采,但增采潜力已很小。为确保开采企业的可持续发展,建议维持现状开采量不变。

研究区内潍坊、烟台、滨州境内的卤水开采区为调减开采区,该地区已处于超采状态,应逐步调整减少开采量。为确保开采企业的可持续发展,建议潍坊区域调减现状开采量至26170万 m^3/a ,关闭开采井620眼;建议烟台区域调减现状开采量至

1480万 m^3/a ,关闭开采井100眼;建议滨州区域调减现状开采量至3030万 m^3/a ,关闭开采井500眼。

参考文献:

- [1] 马龙,于洪军,王树昆.渤海地区晚第四纪环境演化与第四纪滨海相地下卤水的形成[J].海岸工程,2006,(12):1-6.
- [2] 韩有松,吴洪发.莱州湾滨海平原地下卤水成因初探[J].地质评论,1982,28(2):126-131.
- [3] 焦超颖,何远胜.沿海与内陆地下卤水对比分析[J].青岛海洋大学学报,1994,12(专辑):77-80.
- [4] 宁劲松,于志刚,江雪艳.莱州湾沿岸地下卤水的化学组成[J].海洋科学,2005,(11):13-17.
- [5] 张永祥,薛禹群,陈鸿汉.莱州湾南岸潍坊地区咸-卤水入侵及其地下水化学特征[J].地球科学(中国地质大学学报),1997,22(1):94-98.
- [6] 姚英强,袁芳.东营市浅层卤水资源开发现状及开采潜力分析[J].山东国土资源,2013,29(9):37-40.
- [7] 黄河远,薛传东,刘琴. Surfer 软件在卤水储量计算及可视化中的应用简介[J].盐湖研究,2013,(3):21-23.

Potentiality Evaluation of Brine Resources Exploitation in Efficient Ecological Economic Zone of the Yellow River Delta

LIN Cunju¹, YAO Yingqiang², FU Juan²

(1. Shandong Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: There are rich brine resources in efficient ecological economic zone of the Yellow River delta. After extraction of decades, some problems have happened, such as decrease of brine mining level, halogen and useful ion content. In this paper, based on the accounting of brine resources amount, combining with present situation of the development and exploitation, exploitation potentiality has been evaluated in order to provide scientific basis for local brine resources exploitation planning.

Key words: Brine resources; resource assessment; assessment of exploitation potentiality; efficient ecological economic zone; the Yellow River Delta