



# 山东省地下卤水资源开采潜力分析

冯守涛, 谭现锋, 刘刚

(山东省鲁北地质工程勘察院, 山东德州 253015)

**摘要:**山东省地下卤水分布在环渤海和胶州湾沿岸, 总分布面积约 3 003.11 km<sup>2</sup>, 总静储量(333+334)807 734.3 m<sup>3</sup>, 总可开采量 28 721.9 m<sup>3</sup>/a。卤水资源的开采主要集中在莱州湾南岸的寿光市、寒亭区、昌邑市、莱州市, 黄河三角洲的沾化县、东营区和广饶县, 开采利用的均是埋藏深度在 100 m 以浅的卤水资源, 主要用于提取原盐和溴素, 2008 年卤水开采量 31 697.9 万 m<sup>3</sup>/a。由于卤水资源开采程度的不同, 在部分地区形成了超采区, 形成了地下水降落漏斗。采用开采潜力系数法将将卤水分布区分为有潜力区、采补平衡区和超采区。

**关键词:**地下卤水; 资源量; 开采潜力; 山东省

**中图分类号:** P641.8

**文献标识码:** B

## 0 引言

地下卤水是指含有多种工业原料, 矿化度大于 50 g/L, 即 5°Be' 以上的地下水, 地下卤水中富含 Na, K, Ca, Mg, Cl, Br, B, I, Sr, Li, Ba 等几十种化学元素, 是盐化工业的主要原料, 是一种天然的液体矿产资源<sup>[1]</sup>, 主要用于提取原盐和溴素, 部分用于提取氯化镁和氯化钾。

山东省环渤海和胶州湾沿岸分布有丰富的卤水资源, 已建成多处盐场并投入生产, 取得了巨大的经济效益, 为山东经济的发展发挥了重要作用<sup>[2,3]</sup>。但据调查显示, 区内卤水开采存在着一些不合理因素: 一方面是莱州湾南岸地下卤水开采强度过大, 卤水水位呈逐年下降的趋势<sup>[4]</sup>, 地下卤水面临枯竭的危险; 另一方面是无棣、沾化、东营等卤水浓度较低的区域开采程度较低, 地下卤水资源未得到充分利用。为摸清区内地下卤水资源现状潜力, 该文采用开采潜力系数法对卤水资源进行了潜力分析评价, 旨在为卤水资源的开发利用提供依据。

## 1 卤水资源分布及开采概况

### 1.1 分布概况

山东省地下卤水资源是滨海平原第四系孔隙卤

水矿带的一部分, 呈条带状主要分布在环渤海湾沿岸黄河三角洲平原区的无棣、沾化、垦利、东营区、广饶和莱州湾南岸平原区的寿光、寒亭、昌邑、莱州(图 1), 在胶州湾西北岸也有分布。

山东省浅层地下卤水浓度为 5~17.5°Be', 总分布面积约 3 003.11 km<sup>2</sup>(表 1), 其中 5~7°Be' 分布面积约 1 426.00 km<sup>2</sup>, 占总面积的 47.5%; 7~10°Be' 分布面积约 827.91 km<sup>2</sup>, 占总面积的 27.6%; >10°Be' 分布面积约 749.20 km<sup>2</sup>, 占总面积的 24.9%。

### 1.2 资源概况

区内 >7°Be' 卤水静储量(333+334)为 494 732.2 万 m<sup>3</sup>, 可开采量为 17 847.1 万 m<sup>3</sup>/a。石盐(液体 NaCl)静储量(333+334)为 42 932.2 万 t, 可开采量为 1 541.5 万 t/a。溴静储量(333+334)为 101.9 万 t, 可开采量为 3.5 万 t/a。

区内 5~7°Be' 卤水静储量(334)为 313 002.1 万 m<sup>3</sup>, 可开采量为 10 874.8 万 m<sup>3</sup>/a。石盐(液体 NaCl)的静储量(334)为 14 971.6 万 t, 可开采量为 519.3 万 t/a。溴的静储量(334)为 39.9 万 t, 可开采量为 1.3 万 t/a。

收稿日期: 2013-07-04; 修订日期: 2013-07-30; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 863 项目《黄河三角洲深层卤水高效开采关键技术》(课题编号 2012AA061705)

作者简介: 冯守涛(1978-), 男, 山东禹城人, 工程师, 主要从事水工环地质工作; E-mail: fst197809@163.com。

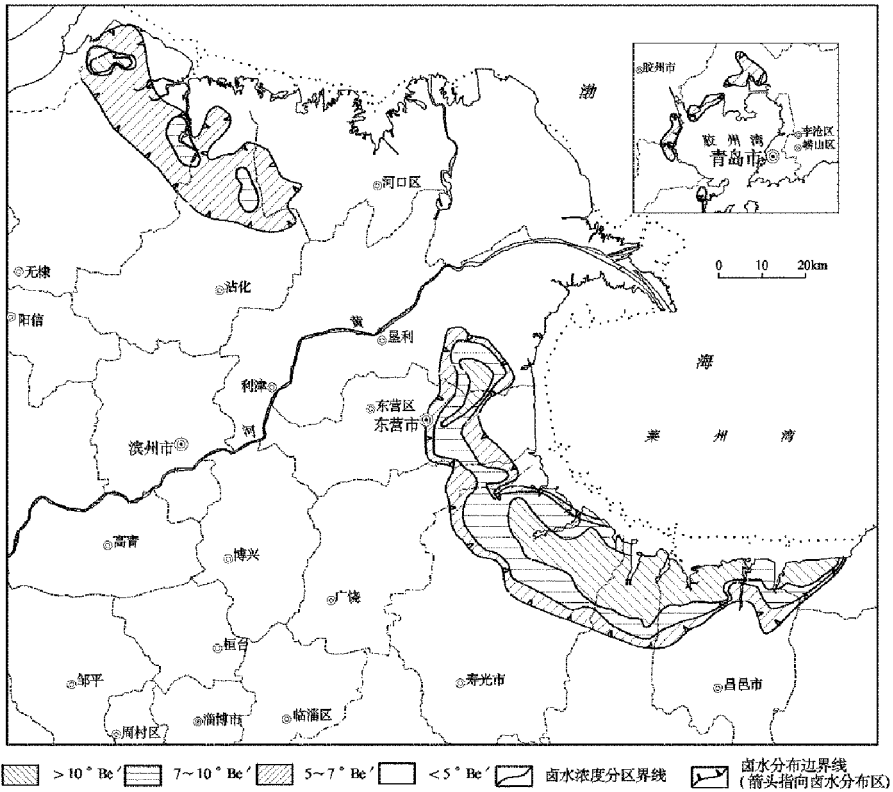


图 1 卤水分布图

表 1 卤水分布面积统计

卤水浓度(°Be')		5~7	7~10	>10	合计
黄河三角洲平原区	面积(km <sup>2</sup> )	1014.22	303.43	85.74	1403.39
	百分比(%)	72.3	21.6	6.1	100.0
莱州湾南岸平原区	面积(km <sup>2</sup> )	323.54	524.48	663.46	1511.48
	百分比(%)	21.4	34.7	43.9	100.0
胶州湾港湾区	面积(km <sup>2</sup> )	88.04			88.04
	百分比(%)	100.0			100.0
合计	面积(km <sup>2</sup> )	1426.00	827.91	749.20	3003.11
	百分比(%)	47.5	27.6	24.9	100.0

1.3 开采概况

目前, 卤水资源的开采主要集中在莱州湾南岸的寿光市、寒亭区、昌邑市、莱州市, 黄河三角洲的沾化县、东营区和广饶县, 开采利用的均是埋藏深度在 100 m 以浅的卤水资源, 主要用于提取原盐和溴素, 部分用于提取氯化镁和氯化钾。卤水资源的开发利用方式有卤水→溴素→原盐、卤水→溴素→原盐→苦卤回收→盐化工产品等<sup>[5-7]</sup>, 但在开发利用过程中存在综合利用率低、过量开采等问题, 造成资源浪费, 导致卤水浓度降低, 产生了地下卤水降落漏斗和生态污染等环境地质问题。

据不完全统计, 目前全区共有生产原盐和溴素的矿山企业 228 个, 2008 年开采地下卤水约 31 697.0 万 m<sup>3</sup>/a, 年生产原盐约 809.9 万 t, 溴素约 7.95 万 t(表 2)。调查表明生产 1 t 溴素平均需要用

表 2 卤水资源开发利用现状

行政区划	产量(万 t)		卤水开采量(万 m <sup>3</sup> /a)
	NaCl	Br	
沾化县	39.01	0.20	541.2
垦利县	0.06		3.0
东营区	5.73		240.0
广饶县	25.00	0.58	1424.0
寿光市	343.15	3.30	12229.8
寒亭区	202.55	0.75	6840.8
昌邑市	95.10	1.60	6219.3
莱州市	99.3	1.52	4199.8
合计	809.9	7.95	31697.9

7°Be' 以上的卤水 4 500 m<sup>3</sup>, 生产 1 t 原盐平均用 7°Be' 以上卤水 16 m<sup>3</sup>。卤水资源的开采主要集中在蒸发量较大的 3—5 月和 9—11 月, 6—8 月和 12 月至次年 2 月为原盐生产淡季。各盐场均采用潜水泵抽取地下卤水, 通过输水沟渠和管道送往晒盐池, 卤

水井深度在黄河三角洲平原的沾化地区约 40 m, 在东营地区约 70 m, 在莱州湾南岸地区约 75~85 m, 最深达 94 m, 单井出水量平均 7~9 m<sup>3</sup>/h, 最大 25 m<sup>3</sup>/h。盐场收盐基本实现了机械化, 降低了劳动强度, 提高了盐的产量。

#### 1.4 存在问题

卤水资源的开发利用对山东省的经济建设发挥了重要作用, 但在开发利用过程中存在综合利用率低、过量开采等问题, 造成资源浪费, 导致卤水浓度降低, 产生了地下卤水降落漏斗<sup>[8]</sup>。

##### 1.4.1 卤水浓度降低

由于长期过量开采卤水, 导致卤水浓度多年来呈下降趋势。如广饶盐场在 1959 年建场时卤水浓度一般为 10~13°Be', 由于多年的开采, 2008 年卤水浓度降至 6~8°Be'; 又据 1993—2002 年寒亭区央子盐场水质监测结果, 10 年来卤水矿化度、主要离子含量呈下降趋势, 其中矿化度降低了 37.5%, 氯离子、钾离子+钠离子含量分别降低了 37.4%, 37.2%。

##### 1.4.2 诱发了地下卤水降落漏斗

为追求原盐和溴素产量, 致使卤水开采量没有节制, 在部分地区卤水开采量超过可开采量, 大量的掠夺性开采, 导致矿区内卤水水位持续下降, 年平均下降速率为 0.33 m/a, 2005—2008 年年平均下降速率更是达到了 1.39 m/a, 目前已经形成了以沾化县滨海镇李家盐场—盛凯盐化、东营区盐场、羊口盐场、利渔盐场和廐里盐场为中心的降落漏斗, 漏斗中心的水位埋深分别为 17.52 m, 22.20 m, 45.41 m, 55.00 m, 26.63 m。

##### 1.4.3 资源浪费现象比较严重

根据资料统计, 2008 年山东省共生产原盐约 809.9 万 t, 溴素约 7.95 万 t。根据实际调查数据, 结合历史资料, 生产 1 t 溴素平均需要用 7°Be' 以上的卤水 4 500 m<sup>3</sup>, 生产 1 t 原盐平均用 7°Be' 以上卤水 16 m<sup>3</sup>。按照此标准, 2008 年生产原盐约用卤水 1.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 生产溴素约用卤水 3.6×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 若原盐全部用提取溴素后的尾液生产, 也只有 1.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 进行了综合利用, 利用率只有 36%, 其余卤水约 2.3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 直接提取溴素后空排入海, 浪费了大量卤水资源。

##### 1.4.4 卤水资源综合利用率低。

目前, 国外盐及溴的深加工产品均已达 200 种

以上, 国内江、浙一带也达 50 多种, 而该区还只停留在 30 几种。近几年来, 虽然一批工艺较新、附加值较高的盐深加工项目和盐化工项目的快速兴起, 给卤水资源的综合利用提供了广阔前景, 但从全局来看, 粗放型生产工艺为主和以原料输出型为主的产业特征仍未根本改变。盐业生产效率低下, 仅为发达国家的几十分之一, 且由于工艺落后、原盐质量差 (比世界发达国家低 2~3 个百分点)。

## 2 卤水开采潜力分析

### 2.1 评价方法

该次采用开采潜力系数法对卤水资源进行潜力分析评价, 开采潜力系数是指区域卤水允许开采量与现状开采量的比值, 其计算公式为:

$$P = \frac{Q_z}{Q_k}$$

式中:  $P$  为开采潜力系数;  $Q_z$  为卤水可开采量 (万 m<sup>3</sup>/a);  $Q_k$  为卤水现状开采量 (万 m<sup>3</sup>/a)。

### 2.2 开采潜力评价

以 2008 年的卤水现状开采量为基准, 依据各浓度分区的卤水资源可开采量, 计算开采潜力系数, 按照表 3 所示的分区标准, 就得到各浓度分区开采潜力 (表 4), 由表 4 可以看出, 全区卤水可开采量 28 721.9 万 m<sup>3</sup>/a, 现状开采量 31 697.9 万 m<sup>3</sup>/a, 超采量 2 976.0 万 m<sup>3</sup>/a, 开采潜力系数 0.91, 采补基本平衡。但由于卤水资源开采程度的不同, 在部分地区形成了超

表 3 卤水资源潜力评价标准

分区标准	$P \geq 1.2$	$0.8 < P < 1.2$	$P < 0.8$
评价	有潜力区	采补平衡区	超采区

表 4 卤水资源开采潜力分区

卤水浓度	潜力分区	面积 (km <sup>2</sup> )	可开采量 (万 m <sup>3</sup> /a)	现状开采量 (万 m <sup>3</sup> /a)	潜力系数 $P$	开采潜力 (万 m <sup>3</sup> /a)	超采量 (万 m <sup>3</sup> /a)
5~7°Be'	有潜力区	1295.00	9862.3	830.2	11.88	9032.1	
	超采区	131.00	1012.5	2059.5	0.49		-1047.0
7~10°Be'	有潜力区	666.87	7296.0	4213.5	1.73	3082.5	
	采补平衡区	34.13	616.1	588.4	1.05	27.7	
>10°Be'	超采区	126.91	1153.3	3518.1	0.33		-2364.8
	有潜力区	97.06	674.9	147.4	4.58	527.5	
合计	采补平衡区	78.40	1418.2	1532.4	0.93		-114.2
	超采区	573.74	6688.6	18808.4	0.36		-12119.8
合计	有潜力区	2058.93	17833.2	5191.1	3.44	12642.1	
	采补平衡区	112.53	2034.3	2120.8	0.96	27.7	-114.2
合计	超采区	831.65	8854.4	24386.0	0.36		-15531.6
	合计	3003.11	28721.9	31697.9	0.91	12669.8	-15645.8

采区,形成了地下水降落漏斗。按地下水开采潜力系数将卤水分布区分为有潜力区、采补平衡区和超采区(图 2)。

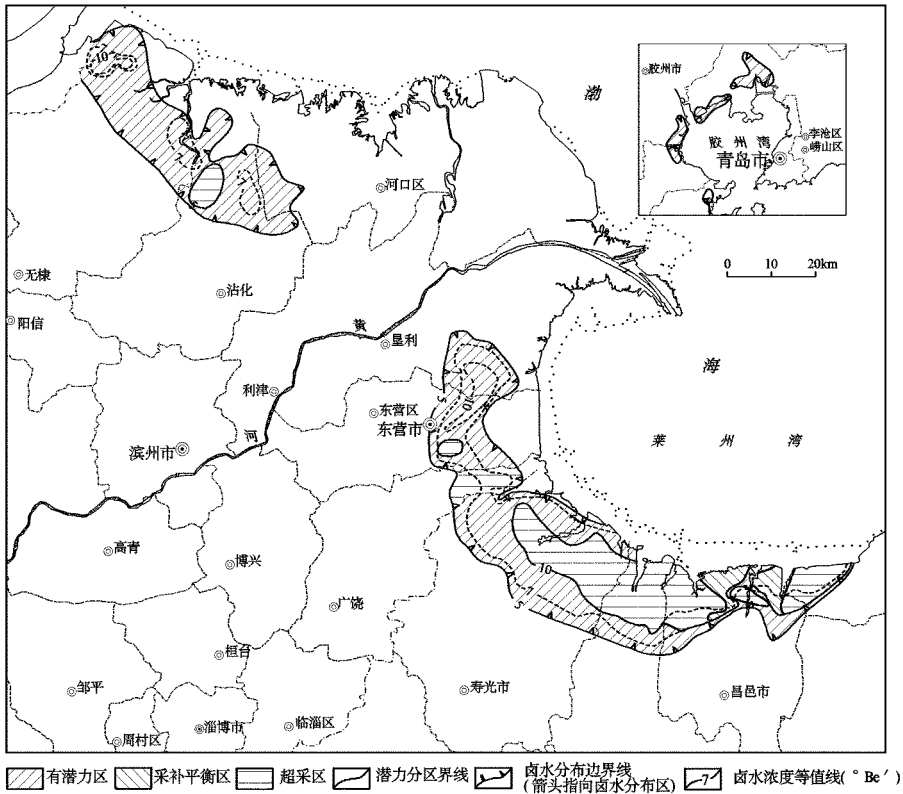


图 2 卤水资源开采潜力分区图

### 2.2.1 有潜力区

有潜力区主要分布在无棣—沾化、垦利、东营和青岛等卤水未开采地区(卤水浓度  $5 \sim 10^\circ\text{Be}'$ , 局部卤水浓度大于  $10^\circ\text{Be}'$ ), 寿光市羊口镇、道口镇—岔河盐场一线以及寒亭区 S320 省道以南等卤水浓度  $5 \sim 10^\circ\text{Be}'$  地区, 昌邑市卤水浓度  $5 \sim 7^\circ\text{Be}'$  区和部分  $>10^\circ\text{Be}'$  区, 莱州土山镇卤水浓度  $5 \sim 7^\circ\text{Be}'$  地区, 总分布面积  $2\,058.93\text{ km}^2$ , 占卤水分布面积的  $68.6\%$ 。

有潜力区卤水总可开采量  $17\,833.2\text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 现状总开采量  $5\,191.1\text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 开采潜力系数  $3.44$ , 大于  $1.2$ , 总开采潜力  $12\,642.1\text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 资源开采潜力大。

有潜力区多为卤水浓度  $5 \sim 10^\circ\text{Be}'$  的地区, 面积  $1\,961.87\text{ km}^2$ , 占有潜力区的  $95.3\%$ ; 局部卤水浓度大于  $10^\circ\text{Be}'$ , 面积  $97.06\text{ km}^2$ , 只占该区的  $4.7\%$ 。

### 2.2.2 采补平衡区

采补平衡区主要分布在昌邑市灶户盐场、廆里盐场以北地区(卤水浓度  $7 \sim 10^\circ\text{Be}'$ ), 总分布面积

$112.53\text{ km}^2$ , 占卤水分布面积的  $3.7\%$ 。

采补平衡区卤水总可开采量  $2\,034.3\text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 现状总开采量  $2\,120.8\text{ 万 m}^3/\text{a}$ , 开采资源潜力系数  $0.96$ , 采补基本平衡, 略微超采, 超采量  $1\,14.2\text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。

采补平衡区多为卤水浓度  $>10^\circ\text{Be}'$  的地区, 面积  $78.40\text{ km}^2$ , 占采补平衡区的  $69.7\%$ ; 局部卤水浓度大于  $7 \sim 10^\circ\text{Be}'$ , 面积  $34.13\text{ km}^2$ , 占该区的  $30.3\%$ 。

### 2.2.3 超采区

超采区主要分布在秦口河与徒骇河交叉处一带的沾化县滨海乡以西的鸿峰盐场、盛凯盐化、胜利盐化公司等卤水浓度  $5 \sim 7^\circ\text{Be}'$  的地区、东营区王岗盐场一带卤水浓度  $7 \sim 10^\circ\text{Be}'$  区; 寿光市羊口镇—菜央子盐场—大家洼镇—央子镇—利渔盐场—灶户盐场一线以北卤水浓度  $>10^\circ\text{Be}'$  的地区、廆里盐场以及莱州土山卤水浓度  $>7^\circ\text{Be}'$  的地区, 总分布面积  $831.65\text{ km}^2$ , 占卤水分布总面积的  $27.7\%$ 。

超采区卤水总可开采量 8 854.4 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 现状总开采量 24 386.0 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 开采资源潜力系数 0.36, 总超采量 1 5531.6 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 超采严重, 已经形成了以沾化县滨海镇李家盐场—盛凯盐化、东营区王岗盐场、寿光市羊口盐场、昌邑市利渔盐场和廐里盐场为中心的降落漏斗, 漏斗中心水位埋深分别为 17.52 m, 22.20 m, 45.41 m, 55.00 m, 26.63 m。

超采区多为卤水浓度大于  $10^\circ\text{Be}'$  的地区, 分布面积 573.74  $\text{km}^2$ , 占超采区的 69.0%, 可开采量 6 688.6 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 现状开采量 18 808.4 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 超采量 12 119.8 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 占超采区总超采量的 78.0%。超采区局部卤水浓度  $5\sim 10^\circ\text{Be}'$ , 分布面积 257.91  $\text{km}^2$ , 占超采区的 31.0%, 可开采量 2 165.8 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 现状开采量 5 577.6 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 超采量 3 411.8 万  $\text{m}^3/\text{a}$ , 占超采区总超采量的 22.0%。

### 3 结语

依据卤水资源开采潜力分析结果, 超采区内的卤水开采量已经超过可开采量, 可通过关闭部分开采井或交替使用开采井, 以及要求制溴企业在原盐生产淡季, 即每年的 11 月 15 日至次年 2 月底休产等措施缩减开采总量至可开采量。采补平衡区内的卤水采补基本平衡, 应维持现状开采量, 不得扩大开

采。有潜力区的卤水开采潜力大, 在符合当地矿产资源规划、盐业总体规划要求的前提下, 可以制定适当的政策鼓励企业按照先浅后深、先易后难、先高浓度后低浓度的原则, 按照先溴后盐、溴盐联产、溴盐平衡、一水多用的原则综合开发利用卤水, 使其为经济建设做贡献。

### 参考文献:

- [1] 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 等. 山东矿床[M]. 山东: 山东科学技术出版社, 2006.
- [2] 韩有松, 孟广兰, 王少青, 等. 中国北方沿海第四纪地下卤水[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [3] 郭建勇, 刘桂珍, 徐金欣, 等. 潍坊滨海区开采卤水对资源及环境的影响[J]. 山东国土资源, 2008, 24(7-8): 54-56.
- [4] 刘刚, 韩晓静, 冯守涛, 等. 莱州湾南岸地下卤水水位动态变化与开采量关系研究[J]. 山东国土资源, 2011, 27(2): 12-15.
- [5] 孙岩. 我国北方滨海平原区地下卤水资源开发利用前景[J]. 海洋地质动态, 1998, (3): 8-12.
- [6] 邹祖光, 张东生, 谭志容. 山东省地下卤水资源及开发利用现状分析[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(3): 214-221.
- [7] 张立荣, 朱红梅. 潍坊市北部沿海地下卤水资源特征及开发利用前景[A]//加强地质工作, 促进可持续发展—华东六省一市地学科技论坛[C]. 济南: 山东地图出版社, 2006: 241-244.
- [8] 李峰山, 秦明清. 山东莱州湾南岸地下卤水开采与保护问题[J]. 海湖盐与化工. 1994, 23(3): 22-24.

## Potentiality Analysis on Uderground Brine Resources in Shandong Province

FENG Shoutao, TAN Xianfeng, LIU Gang

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

**Abstract:** Underground brine in Shandong province mainly distributed in Bohai Sea and Jiaozhou Bay coastal areas. The total distribution areas are about 3003.11 $\text{km}^2$ , total static reserves (333+334) is about 807734.3 $\text{m}^3$ , and total recoverable amount is about 28721.9 $\text{m}^3/\text{a}$ . Exploitation of brine resources mainly concentrated in south bank of Laizhou Bay, such as Shouguang city, Hanting district, Changyi city, Laizhou city, and the Yellow River Delta as Zhanhua county, Dongying district and Guangrao county. Development and utilization are shallow brine resources buried within 100m. It is mainly used for extracting salt and bromine. Brine extraction amount is about 31697.9 $\times 10^4\text{m}^3$  in 2008. Due to the different levels of brine exploitation, over-exploitation areas have been formed in some areas, and formed groundwater depression cone. Using exploitation potentiality coefficient method, brine resources distribution area have been divided into potentiality area, balanced area and over exploited area.

**Key words:** Underground brine; the amount of resources; the exploitation potentiality; Shandong province