

山东渤海沿岸第四纪地下卤水研究进展

吴振,王松涛,祝子惠

(山东省第四地质矿产勘查院,山东 潍坊 261021)

摘要:山东渤海沿岸广泛分布着丰富的第四纪地下卤水资源。近年来,相关部门大力开发地下卤水资源,其勘察研究程度逐渐提高。但是各勘察区域零散,山东省整个渤海沿岸地区第四纪地下卤水资源整体研究程度不够系统全面。该文在前人资料和研究成果的基础上,从3个方面对该区卤水资源的研究进展进行了综述,结合当前的研究工作分析,指出今后该区卤水资源研究的主要工作是卤水资源的可持续性利用及资源环境的可持续发展。

关键词:第四纪;地下卤水;分布特征;渤海沿岸;山东省

中图分类号:P641.8

文献标识码:B

山东渤海沿岸第四纪地下卤水资源的开发利用有着悠久的历史。但早些年由于技术和经济条件的制约,对该地区卤水的成因和资源特点还缺乏系统、成熟的认识,开发利用程度较为低下。自20世纪60年代,该地区卤水资源的勘察工作开始进行,到七八十年代大规模的勘探开发,再到现在由于大规模过度开发造成的资源环境问题,前人都做了大量的研究工作。只是由于研究区域比较零散,时间跨度大,研究重点各异,使得对整个渤海沿岸地区卤水资源的认识缺少系统性和完整性。因此,有必要对山东渤海沿岸第四纪地下卤水的研究进程进行梳理,使研究者对该地区地下卤水资源从整体上有个清晰的认识。

1 形成环境和成因的研究

有关卤水形成环境和成因的研究始于中国科学院海洋研究所,由韩有松等人首先以莱州湾滨海平原地区为中心展开研究,随后又扩大到整个北方沿海地区。经过对我国沿海不同海岸类型区第四纪古地理环境、古气候环境及地下卤水的水化学特征、沉积环境和分布规律调查分析后认为:该地区的卤水资源来源于海水,晚更新世之后的多次大规模的海侵、海退及间冰期的气候波动是卤水形成的古环境^[1]。探索性地提出了海岸带潮滩生成卤水的可

能机理,并系统地论述了海岸潮滩成卤理论^[2]。韩有松等人的这些研究成果在第四纪卤水研究过程中起着极为重要的作用,基本构建了有关卤水研究的框架。在这些研究成果中,卤水形成时的古环境和卤水的来源问题基本上获得了随后学者的认可,并获取了一些相关的地质证据。对该地区卤水形成理论的研究不少学者也进行了探索。

对该项探究,学者大都从卤水的水化学特征分析开始,通过与海水水化学特征对比分析,探索水化学成分转化的过程。20世纪80年代初,韩有松^[2]通过对比莱州湾沿岸地下卤水和海水的化学成分,认为该卤水来源于海水无疑,接着便提出了海岸带潮滩生成卤水的机理,将卤水的形成解释为:赋存于潮滩沉积物中的海水,在退潮期间,通过蒸发作用,使海水浓缩形成。但在随后的进一步研究过程中发现卤水的 $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, Cl^-/Br^- , $r\text{Na}^+/\text{rCl}^-$, $r\text{Mg}^{2+}/\text{rCl}^-$, $r\text{Ca}^{2+}/\text{rCl}^-$ 值虽然与海水接近,但都低于海水的相应值,说明当地的地下卤水绝非海水简单浓缩的产物。

康兴伦等^[3]在对山东渤海沿岸地下卤水的成分研究后提出,山东渤海沿岸的地下卤水是已经变性的海水。在蒸发浓缩过程中首先析出文石或方解石,使溶液中的 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 离子浓度降低。当海水浓缩4~5倍时,出现石膏或硬石膏沉淀,使 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 离子浓度降低。卤水被长期埋藏于地下,与

收稿日期:2013-08-14;修订日期:2013-11-26;编辑:曹丽丽

作者简介:吴振(1985—),男,山东潍坊人,工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:sdwfwz@126.com。

粘土中阳离子交换,使卤水中 K^+ 、 Na^+ 的含量降低, Mg^{2+} 的含量增加。

张永祥等^[4]人在对莱州湾南岸地下卤水的研究中发现,古海水在转化为卤水的过程中,发生了方解石和石膏的沉淀及钠长石和钙长石的蚀变,使得卤水中各主要离子的浓度并不是以相同的浓缩倍数增长;在卤水与淡水的混合带,还存在着 Na^+ , 且与 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 离子交换吸附。

周仲怀等^[5]人的研究发现,莱州湾沿岸的地下卤水还存在着一些明显的微量元素地球化学异常,其中钴的异常现象最明显,个别岸段的浓度是海水的 5 000 倍;铀的含量最高可达 $100 \mu\text{g/L}$,是正常海水浓度的 30 倍。微量元素的异常程度随岸段的不同而变化,但并不与卤水浓度线性相关,地下卤水在形成与演化的过程中存在着与围岩的相互作用。

这些研究进一步完善了韩有松的海岸滩成卤理论。总体上可以把海水向卤水成分的转化分为浓缩阶段和变质阶段。

另外,韩有松^[2]、于洪军^[6]等人还结合海水结冰析盐的自然事实,提出中国北方第四纪滨海相地下卤水的成因还可能包括冰冻生卤机制,即“陆架平原冰冻生卤”假说。认为:中国东部沿海地区在第四纪冰期时由于气候寒冷,海平面下降,部分成陆后的陆架平原区成为永久冻土区,残留在海湾和咸水湖中的海水由于结冰析盐浓缩形成卤水;海退时潮滩蒸发生成的浅层卤水也会由于冻土层的形成而结冰析盐进一步被浓缩。之后被陆相沉积地层埋藏得以保存。

随后,孟广兰^[7]在对自然海水进行冰冻成卤和蒸发成卤的实验研究中发现,对同一海水来源的卤水体来说 δD 值可以作为判别该卤水是冰冻成因还是蒸发成因的一个重要水化学标志。但这个判别依据仅在满足一定的条件下才有意义。因此,尚不能真正运用于分析卤水的成因。

王珍岩等人^[8]运用反向地球化学模拟理论,对莱州湾南岸昌邑各层卤水的水化学演化过程进行模拟。证明了该地区的地下卤水是由古海水经强烈蒸发浓缩后被沉积物埋藏,并在赋存过程中发生了一系列的水—岩相互作用。在一定程度上重现了莱州湾南岸平原浅层地下卤水形成、演化的主要地球化学过程。这项研究一定程度上否定了冰冻生卤的假说。但笔者认为这还仅仅是运用反演的方法概化性

地去还原一些推测的地球化学过程,其与真实情况的偏差难以评估。山东渤海沿岸第四纪卤水的形成究竟是蒸发浓缩生卤还是冰冻生卤,尚缺乏有力的证据来证明。尽管李伟等^[9]从海水冰冻实验与蒸发实验所经历的路径中,分析 Na/Cl 与 Ca/Mg 随浓缩倍数的变化趋势,并用来分析和判断莱州湾沿岸浅层地下卤水的成因,认为其应属蒸发浓缩生卤。其研究用数据的合理性、实用性值得怀疑。所以这方面研究仍然没有实质性的突破。

2 卤水资源赋存规律和资源评价研究

山东渤海沿岸第四纪地下卤水的赋存规律,是随着卤水形成时的古环境的研究结合长期的资源勘察工作建立起来的。20 世纪 50—80 年代,众多地质勘查单位相继在莱州湾进行了不同方法、不同范围、不同精度的卤水资源勘察工作。这为随后的研究提供了丰富的基础资料。第四纪地下卤水的赋存规律的研究最初集中在莱州湾地区。张翠云^[10]根据莱州湾地区区域地质和水文地质条件结合晚更新世后的沉积环境,将卤水层划分为 3 个含卤组,并对各含卤组和隔水层的空间分布形态进行了描述。另外,指出不同地段卤水层在空间上的起伏是受基地构造形态所控。

韩有松等^[11]最初研究认为:山东渤海沿岸都属于滨海平原海岸,第四纪地下卤水呈连续的平行海岸线的带状分布,矿带宽几千米到几十千米不等。受陆相山前冲、洪积平原区的地下淡水径流及海向的海水稀释的影响,地下卤水的矿化度呈现出平行矿带的中间高、两侧逐渐降低的分布。在垂向上,地下卤水分层分布,储层结构与当地几次大的第四纪海侵地层的分布相一致。研究者普遍认为^[10-17]含卤岩系均由一套海陆交互相沉积岩层组成。地下卤水的含水层岩性包括各类砂质沉积物,如粉砂、细砂、粗砂、砾石及其混合物;其沉积层类型可划分为滨岸浅海相、滨岸海陆过渡相、滨海冲积及洪积相、湖相、风化残积层和海岸风沙沉积。地下卤水含卤岩系各含水层组和各含水层之间,均有弱透水和不透水的隔水层存在。隔水层岩性一般为砂质粘土及粘土,有时粘粒含量较多的泥质粉砂透水性较弱,也可作为隔水层。

这些研究,无论对随后的卤水资源勘探开发工作还是进一步的研究,都起到了指导性的作用,由于

勘察工作的进一步深入,山东渤海沿岸第四纪卤水的分布和卤水层的空间分布形态已基本确定。

该地区卤水资源评价是随着勘探开发的进程不断深入的。卤水资源的评价包括水质和水量上的。水质的评价主要是根据工农业生产需求标准对卤水的物理化学性质进行的测定。主要体现在卤水的浓度上。根据卤水浓度把卤水分为了3个级别:高浓度卤水($>10^{\circ}\text{Be}$),中浓度卤水($8\sim 10^{\circ}\text{Be}$)和低浓度卤水($5\sim 8^{\circ}\text{Be}$)。根据前人的研究^[17-20]山东渤海沿岸第四纪地下卤水按地域和卤水浓度可分为:莱州湾高浓度卤水区,由寿光市小清河起到莱州的沙河;黄河三角洲西部低浓度卤水区,以徒骇河为界属于徒骇-漳卫新河岸段;及中间黄河三角洲平原中高浓度卤水区(图1)。这种划分仅仅是区域上的一个总体划分,由于前人对该地区地下卤水水化学特征的研究已经深入(尤其莱州湾南岸地区),而各地区资源状况也都经过了不同程度的勘察评估,局部地区卤水的水化学特征与上述可能会有差异。

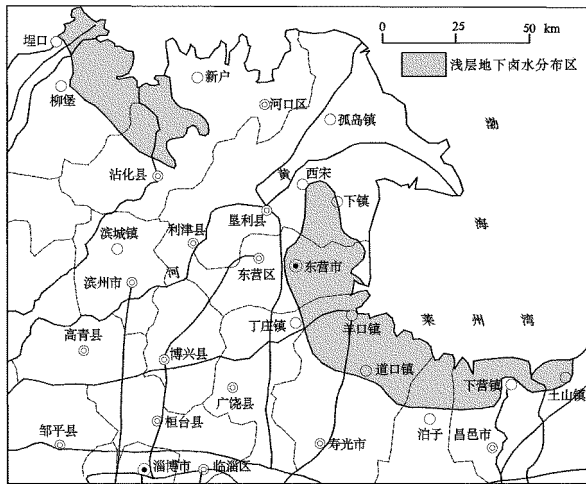


图1 山东省渤海沿岸第四纪地下卤水分布图

山东渤海沿岸第四纪地下卤水资源的蕴藏量相当可观,已探明静储量约为82亿 m^3 。莱州湾沿岸达74亿 m^3 ;黄河三角洲地区静储量约3.4亿 m^3 (保守数据);黄河三角洲西部徒骇-漳卫新河岸段静储量约4.6亿 m^3 。20世纪80年代以来,制盐业的大规模发展,使该地区卤水资源的开发量逐年增加,莱州湾沿岸地区尤甚。连续多年的大规模开采地下卤水资源,使得部分地区资源量不断减少,卤水浓度有降低的趋势。对于该地区卤水资源的这种变化,尚缺少系统、完整的评估。2007年由山东省地

质矿产勘查开发局下达的“山东省地下卤水资源调查评价”项目展开。通过遥感解译、物探、抽水试验、动态监测等手段,了解全省地下卤水资源的分布埋藏、水文地质条件、开发利用现状及环境地质问题等。这是近年来对该地区卤水资源进行的最为系统的一次评估,对重新认识卤水资源及今后面临的问题有着重大意义。

3 卤水资源综合利用和可持续发展研究

当前该地区卤水资源的开发利用主要是卤水提取溴素,盐化工,苦卤提取以及卤水养殖。应该说当前对卤水的开发利用程度较之初期单独的晒盐已有了跨越式的提高,也为当地创造了可观的经济和社会效益。但正是对这种经济、社会效益不计后果的追取,才使该地区卤水资源的开发利用与可持续发展的矛盾凸显。尤其莱州湾沿海地区,卤水资源蕴藏量大,浓度高,开发较早,开采程度高,引发的环境问题也越明显。

根据前人的调查,当前卤水资源开发利用的主要问题有:①卤水开发缺乏统一的管理,卤水无证、无序过度开采严重;②资源利用率低,浪费严重;③过度开采造成的环境地质问题和废水排放造成的生态环境问题严峻。

有关卤水资源的开发利用问题,在研究初期,韩有松等就有过要加强对地下卤水资源综合利用的研究,及开展对大规模开发利用地下卤水的环境效应评价的建议。之后不少科研工作者和学者们都对卤水资源的合理开发利用及其环境效应进行了调查评估,并提出了合理的建议:①怎样使卤水资源的开采合理、有序。采用行政管理、市场调节等手段统筹管理,合理控制、调节卤水资源的开采。②有效地提高化工工艺,推广循环经济,提高资源利用率减少浪费。③对过度开采造成的地下卤水水位下降,浓度降低,地面沉降、地裂缝、地下水漏斗、海(咸)水入侵等地质环境问题,及化工废水排放造成的沿海生态环境问题进行调查、评估、治理。

对于卤水资源的可再生问题,山东省盐业研究所相关实验已经证实,每年海水可以有效地形成一定量的大于 10°Be 的卤水对其进行补给。但这些补给根本无法平衡近些年持续大规模的开采量,所以引发了诸多环境问题。资源与环境问题已然成为制约该地区经济、社会发展的一个瓶颈。故,探讨卤

水资源的可持续性利用及资源环境可持续发展的研究已显得尤为重要。尽管当前这方面的工作已陆续展开,但是由于对经济利益的难以割舍,行之有效的解决方法寥寥。如此看来,这方面的研究仍处在研讨探索阶段,在今后相当长时间内将是卤水研究方面的主题^[2,16-24]。

4 结语

通过以上论述,可以得出,山东渤海沿岸地下卤水资源无论是从研究程度上,还是开发利用程度上,莱州湾沿岸地区都高于其他地区。由于资源量和卤水浓度与莱州湾沿岸地区卤水有不小差距,其他地区的卤水开发利用程度较低,但近些年在鲁北无棣、沾化等地区的卤水资源的勘察评价工作也陆续展开,另外东营地区的卤水资源也在进一步的开发利用中。总体来讲,有关山东渤海沿岸第四纪地下卤水形成环境和成因的研究基本已经完善,只是对于蒸发浓缩生卤理论尚缺乏直接、有力的证据;该地区地下卤水的赋存规律已基本查清,资源评价工作也在开发利用前完成,但持续多年大规模开采后的资源量和水质的变化尚需做进一步的评估;资源的开采利用与环境之间的矛盾日益突出,探讨卤水资源与环境的可持续发展的研究还需进一步加强。

参考文献:

- [1] 韩有松,孟广兰.渤海莱州湾滨海平原晚第四纪地质事件与古环境[J].海洋科学集刊,1994,(35):87-95.
- [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,1996:1-193.
- [3] 康兴伦,程作联.山东渤海沿岸地下卤水的成分研究[J].海洋通报,1990,9(6):25-29.
- [4] 张永祥,薛禹群.莱州湾南岸晚更新世后地层中沉积海水的特征及形成环境[J].海洋学报,1996,18(6):61-68.
- [5] 周仲怀,徐丽君,刘兴俊.莱州湾沿岸地下浓缩海水微量元素地球化学异常及其成因研究[J].海洋与湖沼,1990,21(6):585-587.
- [6] 于洪军,崔高高,刘选,单秋美.“冰冻成卤”理论的地质意义[J].海洋科学,1998,(6):52-54.
- [7] 孟广兰,王珍岩,王少青,等.冰冻成因卤水的水化学标志 I. 卤水的 δD 值[J].海洋与湖沼,1999,30(4):416-420.
- [8] 王珍岩,孟广兰.渤海莱州湾南岸第四纪地下卤水演化的地球化学模拟[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(1):49-53.
- [9] 李伟,吴衍华.莱州湾沿岸浅层地下卤水蒸发成因新依据[J].山东国土资源,2007,23(6):21-23.
- [10] 张翠云.莱州湾滨海平原地下卤水的形成及其演化[J].中国地质科学院水文地质工程地质研究所所刊,1993,(9):73-91.
- [11] 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.
- [12] 王珍岩,韩有松.第四纪滨海相地下卤水的研究[J].海洋科学,1998,(1):22-24.
- [13] 马龙,于洪军,王树昆,姚菁.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,2006,25(4):1-6.
- [14] 冷莹莹,李祥虎,刘蕾.潍坊市北部天然卤水矿床特征及成因分析[J].成都理工大学(自然科学版),2009,36(2):188-194.
- [15] 王松涛,高美霞,傅俊鹤.山东潍坊沿海地下卤水矿床地质特征及成矿规律[J].矿床地质,2008,27(5):631-637.
- [16] 韩非,薛禹群,吴吉春,叶淑君,张永祥.莱州湾南岸咸水入侵条件下地下水的水化学特征与卤水形成[J].地质评论,2001,47(1):102-108.
- [17] 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.
- [18] 孙岩,刘云起.我国北方滨海平原地区地下卤水资源开发利用前景[J].海洋地质动态,1998,184(3):8-12.
- [19] 李春山.山东渤海沿岸浅层地下卤水资源的初步分析及开发建议[J].资源与环境,1990,2(1):70-75.
- [20] 姚菁,于洪军,王树昆,马龙.我国环渤海地区地下卤水分布及其综合利用[J].海岸工程,2006,25(增刊):63-68.
- [21] 杨瑾,张勤业.淮北地区卤水资源可持续开发的建议与对策[J].海洋开发与管理,2009,26(7):17-20.
- [22] 李丽,袁存光.黄河三角洲盐卤资源综合利用研究[J].盐湖盐与化工,2005,34(3):1-4.
- [23] 苑庆忠.山东莱州湾滨海地下卤水及其制盐特点[J].山东轻工业学院学报,1993,7(4):31-35.
- [24] 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].盐湖盐与化工,1994,22(3):22-25.

Research Progress of Quaternary Underground Brine along Coastal Areas of the Bohai Sea in Shandong Province

WU Zhen, WANG Songtao, ZHU Zihui

(No.4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China)

Abstract: Quaternary underground brine resources distributed widely along the coastal areas of the Bohai sea in

Shandong province. In recent years, relevant departments vigorously developed underground brine resources, and the extent of its investigation rises gradually. But the prospecting areas scattered throughout the Bohai sea in Shandong Province. Overall research on Quaternary underground brine resources in coastal areas is less systematic and comprehensive. Based on previous datas and research achievements, research progress of brine resources has been reviewed in three aspects. Combining with the analysis on current research work, it is indicated that major research work in this area is sustainable utilization of brine resources and sustainable development of resources and environment.

Key words: Quaternary; underground brine; distribution; coastal areas of the Bohai sea; Shandong province