

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.04.013

南通地区地下水咸化机理分析及改良措施

周慧芳¹, 谭红兵², 高 将¹, 张文杰²

(1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221116; 2. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为了给南通地区地下水的合理开发和利用提供理论依据,利用各种水化学系数和变化图示对研究区内深层和浅层地下水的咸化机理进行了分析。结果表明:研究区内深层地下水中、西部水化学演化以正常的水-岩作用为主,东部沿海特别是寅阳镇一带深层地下水则主要因淋滤古海相地层盐分而使TDS增高;远离海边的大部分地区浅层地下水TDS增高主要与溶解地层盐分和蒸发作用有关,沿海地带尤其是东南角寅阳镇、海晏镇一带浅层地下水由于受到一定程度的现代海水入侵影响,其TDS显著增高。针对该区域地下水水化学变化特征,提出地下水系统改良措施:合理开发利用高TDS地下水可增加区域水资源量,增强调蓄能力,减轻对深层淡水资源的潜在威胁;逐渐增大地下咸水的开采量,从长远意义上逐步改良盐碱地,以利于水土资源利用及生态环境改善。

关键词:地下水;咸化机理;水化学系数;地下水改良;南通地区

中图分类号:X14 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)04-0070-07

Analysis of salinization mechanism of groundwater in Nantong area and its improvement measures

ZHOU Huifang¹, TAN Hongbing², GAO Jiang¹, ZHANG Wenjie²

(1. College of Construction Management, Jiangsu Jianzhu Institute, Xuzhou 221116, China;
2. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to find out the salinization mechanism of shallow and deep groundwater in Nantong area, all sorts of hydro-chemical coefficients and variation diagrams were used to analyze the salinization mechanism of shallow and deep groundwater in the study area. The results show that, in the central and western parts of study area, the hydro-chemical evolution of deep groundwater is controlled by traditional water rock interaction, the increase of TDS in eastern coastal area, especially around the area of Yinyang Town, is the result of salt leaching from paleo marine strata. As for the shallow groundwater, the increase of TDS in the most areas far from the sea is mainly connected with the effects of dissolved salt and evaporation. Influenced at some degree by the modern seawater intrusion, the TDS in coastal area, especially in the Yinyang Town and Haiyan Town in the southeast corner, was significantly increased. According to these change characteristics of groundwater hydro-chemical in the study area, some measures of improving the groundwater system were put forward: develop and utilize high TDS groundwater reasonably to increase the amount of regional water resources and enhance the storage capacity, mitigating potential threats to deep fresh water resources; increase the exploitation amount of salt water gradually to improve saline and alkaline land step by step, having positive significance for soil and water resources utilization and ecological environment improvement in the long term.

Key words: groundwater; salinization mechanism; hydrochemical coefficient; groundwater improvement; Nantong area

基金项目:国家自然科学基金(41271041)
作者简介:周慧芳(1985—),女,硕士,讲师,主要从事水文地球化学研究。E-mail:huifang_0110@163.com

2009 年 6 月 10 日国务院通过了规划期为 2009—2020 年的《江苏沿海地区发展规划》,确定江苏沿海大开发作为国家发展战略,“海上苏东”工程的实施将使南通地区得到更快的发展。2011 年、2012 年、2013 年中央一号文件都极其强调水土资源短缺问题及用水安全,特别是 2014 年中央一号文件提出,建立农业可持续发展长效机制,加大生态保护建设力度,生态保护、生态农业、水环境污染与水资源短缺都是需重点研究解决的民生问题。由此可见,国家对水资源的高度重视。在此背景下,值得注意的是,南通地区地下水也已形成区域降落漏斗,特别是近数十年来深层地下水出现的咸化趋势更引起各方面的高度关注^[1-3]。在江苏沿海大开发正如火如荼进行的背景下,一个突出的问题就不得不先于经济大规模开发之前开展基础研究。一旦地下水被不合理开发,会引起海水入侵加剧或上层咸水入渗深层地下水的灾害,这种灾害一旦发生,会进一步造成地面沉降、地下水漏斗扩大,且灾害影响区域大,很难治理。这在山东半岛、莱州湾和渤海湾已有沉痛的历史教训^[4-6],因此,进一步了解南通地区地下水的咸化机制,促进对该区的地下微咸水、咸水的改良利用,具有非同寻常的现实意义。对于已经出现咸化的地下水,如果无法进行有效利用,对自然界水资源将造成严重浪费。近年来尽管地下水的水质问题受到了较大关注,但前人针对南通地区地下水咸化原因的研究得出的结论难以一致,且对于如何有效利用微咸水、咸水的专门研究并不多。因此笔者重点利用各种水化学系数和变化图示对南通地区地下水咸化原因作进一步研究分析,并提出了有效利用地下咸水的相关建议,旨在深入探究该区地下水咸化成因机制,从而为地下水资源的合理开发和保护提供理论依据。

1 研究区概况

南通地区位于江苏省东南部,东临黄海,南靠长江,人称“黄金海岸”,其地理位置十分优越。该区是我国发展综合运输的沿海主枢纽港和外贸运输的重要口岸,已入全国十大港口之列。区内轻纺、化工、电子工业和建筑业都比较发达,是我国重要的江海港口、工业城市,也是江苏沿海开发的重要基地、沿江旅游带的重要组成部分。该区水资源短缺,水质优良的深层地下水是该区经济发展的重要支柱。然而,在江苏沿海地区深层地下水开发利用过程中,开采布局不合理已导致如下环境地质问题^[1-2,7-8]: ①区域性降落漏斗。至 2002 年整个江苏沿海地区的水位降落漏斗面积已达 7 500 km²。②水资源枯

竭。由于区域降落漏斗的形成,导致单井出水量普遍减少,十几年来南通市大约有 30% 以上的水井出水量出现严重衰减,致使将近 1/4 的水井因地下水位下降产生吊泵或报废。③水质咸化。沿海地区浅层地下水为 TDS 普遍大于 3 g/L 的半咸水、咸水;深层水虽以淡水为主,但由于大规模开采,上下含水层和深层咸淡水之间的天然平衡遭到破坏,从而引起上部咸水体越流补给和海域咸水体西移,使主采层地下淡水逐渐咸化。④地面沉降。2003 年地质监测成果表明,沿海地区地面沉降已从城区向区域发展,并且具有沉降范围广、发展迅速、与深层水水位降落漏斗相一致、危害性大、沉降速率与深层水开采量密切相关等特点^[9]。

近几年自限制或禁止开采深层地下水以来,深层地下水水位有所回升,浅层咸水下渗问题得到了很好的抑制,但东部沿海 TDS 增高的地下水仍需大力加强保护,特别是在全球变暖、黄海海平面上升的总趋势下,东南角寅阳镇、海晏镇一带浅层地下水因现代海水入侵 TDS 显著增高的区域更应该引起高度重视^[3]。

2 样品采集与处理

分析所用数据为 2009 年、2010 年对南通地区中东部沿海一带的深层和浅层地下水进行野外调查取样及分析测试获得的数据,样品采集地点见图 1。本文中所用 TDS 数据于第一时间内由 HI2300 台式微电脑 EC/TDS/NaCl/℃ 测定仪测定;Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺采用 ICP 等离子体发射光谱仪测定(误差小于 5.0%);Cl⁻采用 ICS—2000 离子色谱仪测定(误差优于 2.0%)。各离子测定均在河海大学水文水资源国家重点实验室完成。

测出的样品 TDS 值及计算的水化学系数见表 1。

3 利用水化学系数组合图分析地下水咸化机理

3.1 $\rho(\text{Cl}^-)$ 与 $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 组合分析

Cl⁻是地下水中最稳定的离子,既不被植物和细菌吸收,也不被土粒表面吸附。Cl⁻主要存在于氯盐及海水中,而氯盐的溶解度很大,在蒸发的早期又不易沉淀析出,因此可以作为参照标准来分析其与其他离子的关系。一般地,若地下水中存在非氯盐的溶解或受到蒸发作用,地下水中的 TDS 将升高,相反, $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 将不变或者减小。然而由图 2 所示的趋势线可以看出,区内浅层和深层地下水的 $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 比值随着 TDS 的增大而增大,说明

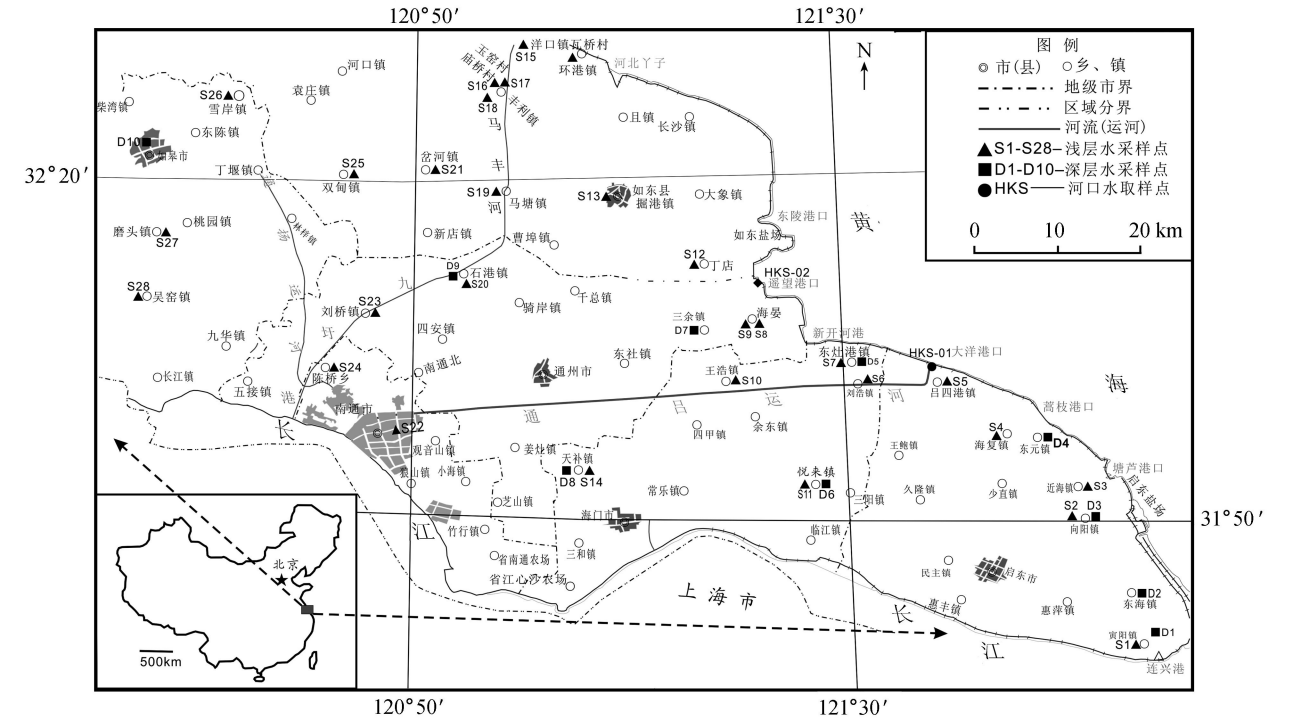


图 1 样品采集地点示意图

表 1 测试数据及计算水化学系数

序号	采样点	水样类型	$\rho(\text{TDS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cl}^{-})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cl}^{-})/\rho(\text{TDS})$	$\rho(\text{Na}^{+})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	$\gamma(\text{Na}^{+})/\gamma(\text{Cl}^{-})^{\text{①}}$	$\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$
D1	寅阳镇	深层承压水	2084	1.006	0.48	0.4974	0.76	1.01
D2	东海镇	深层承压水	1622	0.733	0.45	0.4366	0.91	0.93
D3	向阳镇	深层承压水	577	0.079	0.14	0.1850	3.61	0.88
D4	东元镇	深层承压水	910	0.286	0.31	0.2607	1.40	0.78
D5	东灶港镇	深层承压水	750	0.177	0.24	0.2256	1.96	0.78
D6	悦来镇	深层承压水	713	0.223	0.31	0.1161	0.80	0.74
D7	三余镇	深层承压水	684	0.150	0.22	0.0903	0.92	0.73
D8	天补镇	深层承压水	757	0.076	0.10	0.0737	1.49	0.78
D9	石港镇	深层承压水	1006	0.338	0.34	0.1660	0.75	0.78
D10	如皋市	深层承压水	479	0.032	0.07	0.1022	4.89	0.78
S1	寅阳镇	浅层水	2298	1.043	0.45	0.6866	1.01	2.16
S2	向阳镇	浅层水	2597	1.116	0.43	0.8738	1.20	3.55
S3	正海镇	浅层水	1000	0.156	0.16	0.2614	2.58	2.33
S4	海复镇	浅层水	672	0.059	0.09	0.1037	2.69	1.69
S5	吕四港镇	浅层水	1278	0.339	0.27	0.3536	1.60	1.47
S6	刘浩镇	浅层水	779	0.120	0.15	0.1423	1.81	1.06
S7	东灶港镇	浅层水	1255	0.234	0.19	0.3842	2.52	1.86
S8	海晏镇	浅层水	9544	4.770	0.15	3.0750	0.99	3.80
S9	海晏镇	浅层水	1167	0.175	0.18	0.2924	2.56	2.23
S10	王浩镇	浅层水	1155	0.212	0.12	0.1438	1.04	1.14
S11	悦来镇	浅层水	661	0.080	0.11	0.0664	1.27	0.79
S12	丁店	浅层水	529	0.059	0.17	0.0745	1.93	0.89
S13	掘港镇	浅层水	1062	0.183	0.10	0.1905	1.60	0.97
S14	天补镇	浅层水	483	0.047	0.28	0.0944	3.10	0.64
S15	洋口镇瓦桥村	浅层水	1851	0.511	0.18	0.6394	1.92	4.54
S16	丰利镇玉窑村	浅层水	1127	0.207	0.21	0.1591	1.18	1.06
S17	丰利镇玉窑村	浅层水	944	0.200	0.21	0.1593	1.22	1.36
S18	丰利镇家庙桥村	浅层水	1357	0.284	0.12	0.2512	1.36	1.70
S19	马塘镇	浅层水	940	0.114	0.13	0.0836	1.13	0.95
S20	石港镇	浅层水	930	0.122	0.12	0.0651	0.82	0.74
T13	岔河镇金河村	浅层水	1048	0.125	0.48	0.1342	1.65	1.28
S22	南通市	浅层水	694	0.106	0.15	0.0669	0.97	1.31
S23	南通市刘桥乡	浅层水	716	0.097	0.14	0.0952	1.50	1.36
S24	南通市陈桥乡	浅层水	873	0.146	0.17	0.1046	1.10	0.74
S25	双甸镇	浅层水	629	0.059	0.09	0.0451	1.18	0.42
S26	雪岸镇	浅层水	779	0.145	0.19	0.0893	0.95	0.85
S27	磨头镇	浅层水	603	0.033	0.06	0.0583	2.68	0.43
S28	吴窑镇	浅层水	330	0.027	0.08	0.0187	1.05	0.55
HHS ^②		黄海水	30930	17.530	0.57	9.8900	0.87	5.22
Y61	南通市	雨水	27	0.003	0.12	0.0023	1.11	0.47
Y71	启东市	雨水	30	0.006	0.20	0.0042	1.06	0.41
Y8	启东市	雨水	11	0.001	0.10	0.0006	0.90	0.27
Y9	启东市	雨水	12	0.000	0.04	0.0002	0.84	0.22

注： $\gamma(\text{Na}^{+})/\gamma(\text{Cl}^{-})$ 为 Na^{+} 、 Cl^{-} 的浓度比值，其余类同；②为引用黄海水数据^[10]。

研究区地下水 $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 比值的增大是由于受到氯盐溶解或者现代海水入侵导致 Cl^- 浓度增高所致。尤其是 D1(寅阳镇)、D2(东海镇)、S1(寅阳镇)、S2(向阳镇)和 S8(海晏镇)几个区域,无论是浅层水还是深层地下水,其样品点分布在图 2 中均位于趋势线的右上端,即 TDS 值较其他地区明显增大,同时 $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 比值亦相应增大,这几个样品点多集中在东南角沿海一带和海晏镇,正说明该部分区域地下水矿化度的增高与以氯盐为主的古海相地层盐分淋滤或者受到现代海水入侵影响有关。

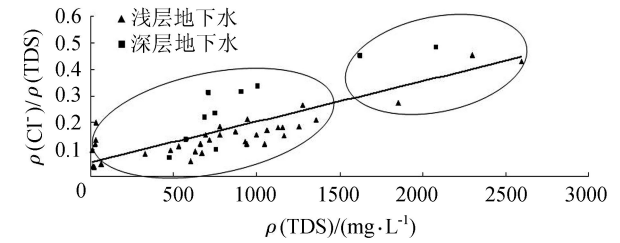


图 2 $\rho(\text{TDS})$ 与 $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{TDS})$ 组合分布

3.2 利用 Na-Cl 分布趋势图分析

由大气降水、海水、浅层地下水和深层地下水中的 Na^+ 、 Cl^- 浓度绘出的 Na-Cl 分布趋势线如图 3 所示。

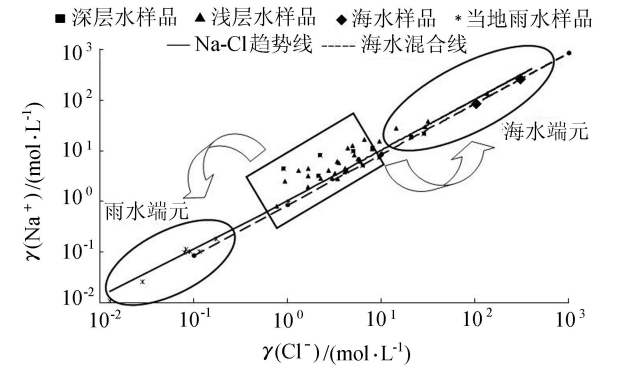


图 3 Na-Cl 分布趋势

从图 3 可见,研究区内的大气降水样品和海水样品在图中刚好位于右上角和左下角两个端元,仅由这两种水样品的 Na^+ 、 Cl^- 离子数值绘出的趋势线为研究区内的海水混合线。越靠近趋势线左下角,说明水中的 Na^+ 、 Cl^- 浓度越低,含盐量越小,越接近天然的大气降水;反之,则 Na^+ 、 Cl^- 浓度越高,含盐量越大,越接近海水成分或岩盐淋滤水。因此,该区的地下水样品点分布越靠近右上角海水端元,说明其水质成因可能与海水联系越密切;相反,越靠近左下角大气降水端元,则表示水质成因来源于大气降水的可能性越大。

由浅层和深层地下水、海水中的 $\rho(\text{Cl}^-)$ 和 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值绘出的分布图如图 4 所示。

很明显,研究区东南角出现明显咸化情况的寅

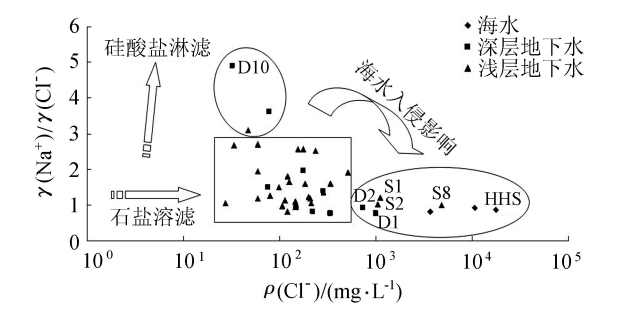


图 4 $\rho(\text{Cl}^-)-\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值分布

阳镇(S1)、向阳镇(S2)、海晏镇(S8)浅层地下水和寅阳镇(D1)、东海镇(D2)深层地下水样品点在图 3 中均靠近或在海水混合线上,且靠近右上角海水成因的一极,而在图 4 中均分部在图形右下方,即随着 Cl^- 质量浓度的不断增高(寅阳镇高达 1.04 g/L 、向阳镇高达 1.12 g/L), $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值则不断降低。在自然界地下水化学演化过程中,海水入侵和淋滤地层盐分都可引起 Na^+ 、 Cl^- 浓度增高,但若地下水与海水混合,则 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值接近 0.87 ;如果淋滤地层盐分则接近 1 ;而如果 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 远大于 1 则表明水-岩作用促使水中 Ca^{2+} 与岩石或地层吸附的 Na^+ 交换,导致水中 Na^+ 浓度与 Cl^- 不协调增大而出现很高的 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值。这些区域除海晏镇以外,均位于研究区东南角沿海一带,急剧增多的 Cl^- 很明显是由海水入渗带来,并且该部分地下水样品的 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值均接近于标准海水(0.87),正进一步印证南通地区东南部寅阳镇、海晏镇一带地下水受到一定程度的现代海水入侵影响。

从图 4 可见,采取的地下水样品点大部分分布在中部,该部分区域浅层和深层地下水 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 几乎均接近于 1.0 ,说明地下水主要由当地降水经过蒸发浓缩及含岩盐地层溶滤作用等过程形成。磨头镇(S27)、吴窑镇(S28)浅层地下水样品点和如皋市深层地下水样品点均集中在图 4 的中部,该部分地区都位于研究区西北部, Cl^- 含量较低,说明其水质较好。如皋市深层地下水样品点(D10)较为特殊, Cl^- 质量浓度仅为 32.05 mg/L ,但其 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值则高达 4.89 ,远远高于其他地区及海水的 $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值(0.87),且深层地下水的 Na-Cl 浓度落在图 3 中远离海水混合线且靠近大气降水成因的一端。一般而言,各类岩石中都含有较高的 Na^+ ,但硅酸盐类岩石中不含 Cl^- 或 Cl^- 浓度很低,淋滤硅酸盐作用则可使地下水 Na^+ 浓度增大, $\gamma(\text{Na}^+)/\gamma(\text{Cl}^-)$ 比值明显升高。由此可见,如皋地区深层地下水的水化学特征主要是由淋滤地层中的硅酸盐岩所致,

即一般地下水演化过程中的水-岩作用类型。

3.3 利用 $\rho(\text{Cl}^-)$ 与 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 比值分析

由所收集的各种水样品的 Cl^- 浓度和 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 比值绘出的分布图如图 5 所示。一般情况下,自然界水体中的 Mg^{2+} 主要来自外界物质风化作用迁移带入,且 Mg^{2+} 往往是在 Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合形成沉淀之后才有少量沉淀成岩,因此 Mg^{2+} 在水中的存在状态比较稳定,一般变化不大。火成岩地区溶滤成因地下水中 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 较大,而河湖相碳酸盐沉积的溶滤往往使得 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 接近于 1.0,标准海水 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 系数的平均值为 5.5。图 5 显示地下水样品点和雨水样品点分布明显集中于图 5 中的 4 个区域。区域 I 代表自然条件下的当地降水,由降雨形成的地下淡水经过蒸发作用和水岩交换逐渐演化为区域 II 中的水体;区域 II 中的水体为中部和西北部远海地带的浅层和深层地下水,其 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 位于 1.0 附近,其地层溶滤岩石可能为或更接近白云石;区域 IV 主要为黄海水和河口水,海晏镇样品也分布于内;区域 III 则是受到海水影响的东部及东南角沿海地区的浅层和深层地下水。III、IV 区域内明显为咸化水体;沿海浅层地下水具有较高的 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 系数, Mg^{2+} 相对于 Ca^{2+} 较为富集,接近于海水中 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 比值,深层地下水 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 位于 1.0 左右,与地层溶滤有关,这说明东南沿海浅层地下水咸化的主导原因是海水与由降水演化而来的地下淡水的混合,而该区深层地下水则主要受控于地层溶滤作用。

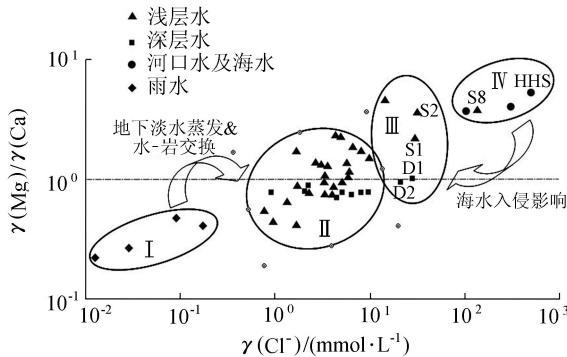


图 5 $\gamma(\text{Cl}^-)$ - $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 比值分布

图 5 直观地反映了南通地区地下水的演化过程,即当地大气降水逐步演变为水质较好的地下淡水,随着与周围环境的进一步长期作用,中西部地区浅层和深层地下水经历蒸发浓缩和水-岩作用后,逐渐演化为 $\gamma(\text{Mg})/\gamma(\text{Ca})$ 趋向于 1.0 的水体,而东南部沿海地区,浅层地下水及部分深层地下水与海水相混合,成为海水入侵主导形成的地下咸水。

4 地下淡水保护及高 TDS 地下水改良措施

4.1 继续加强地下淡水开采保护

随着社会经济的发展和居民用水量的增加,单一依靠地下淡水资源不仅满足不了诸多需求,而且易造成地下水位下降,使地下含水层供水能力降低,形成区域性缺水等问题^[11-12]。因此,政府部门需要进一步科学规划开采井点布局,严格控制地下水的开采强度和开采量,合理调整开采层次,按需分质取水,提高凿井质量;对于水质要求较高的百姓生活用水,可开采深层承压水;而对水质要求较低的工农业用水,则以开采浅层水为主,有条件使用地表水的地区应尽量使用地表水。同时,需要进一步加大对当地水资源的统一调度管理力度,积极推进跨流域调水,有效利用区内外地表水资源。

针对沿海地区海水入侵的问题,总的措施是使沿海地区地下水位高于海平面,这就需要因地制宜,增加地下淡水储备,减少地下水开采量,有效利用地下水资源。结合各地治理海水入侵的成功案例,南通地区可以结合各地具体情况从以下措施中选取:

a. 拦蓄补源。应引起政府部门注意的是,现有的水利拦蓄工程大多已老化,配套程度较低,导致丰水期大量的雨洪资源未能得到充分地拦蓄和滞留利用,以至于淡水资源白白流失,因此应对该区的大中型水利工程进行统一检测和改进。在降雨量集中、河流短且湍急以及丘陵地区,淡水极易流失入海,可以沿海岸修建梯级闸进行蓄水,利用地下含水层修建地下水库,有效利用渗水沟渠、渗水井加速地表淡水的入渗。

b. 向地下含水层人工回灌淡水,加速已经咸化的地下水的淡化过程。研究区具有依傍长江的天然优势,可以科学利用长江水进行人工回灌,并尝试灌排结合,以使水质逐步改良。

c. 建造淡水“屏障”或进行抽水截流。该法主要适用于海水入侵通道比较狭窄的地区,如被断裂带穿过的特殊构造区域海晏镇。

d. 修筑挡水坝,既能有效防止海水入侵,又可形成地下水库增加淡水存储量。

e. 已出现海水入侵趋势的地区,如南通东南沿海,应最大限度地限制地下淡水开采量,定期停采或轮采,缩短水位恢复过程,减轻海水入侵程度。

另外应尤为注意的是,近两年南通沿海地区正在实施围填海的沿海大开发工程,这就要求在实施大型涉海工程时,应充分考虑海平面上升因素,综合评价海平面上升对海洋动力、生态环境和海洋灾害的影响;在建设海洋防御设施时,应因地制宜合理选

址,充分利用滨海地区生态系统的防护功能,做到堤防与生态相结合,以实现沿海地区的和谐发展。

4.2 促进地下微咸水或咸水的科学合理利用

近年来,南通沿海地区大开发正在规划或已实施。如何高效、正确利用围填海土地资源以及近海滩涂微咸水、咸水资源成为经济发展之前首先要考虑的问题。随着围填海项目的实施,从城郊至围填海界限即黄海海边一带将会给南通地区带来前所未有的发展空间。水资源是经济发展的先决条件,但沿海一带由于现代海水影响,地下淡水资源严重匮乏,取而代之是丰富的地下微咸水、咸水,因此,要缓解地下淡水资源缺乏问题,就需要各行各业加强配合,科学合理地利用沿海地带地下微咸水和咸水资源,使其“变废为宝”,对此,借鉴国外咸水的开发利用实例以及国内盐城、莱州湾等沿海开发的成功案例^[11-19],在南通沿海地区的空间区域上,就不同区域条件采取措施促进咸水利用和地下水水质不断改善:

a. 滩涂开发地带盐土农业区。该区域受海水影响较大,主要为盐渍土等,适于发展盐土农业。借鉴盐城盐土农业发展的成功经验,可积极发展耐盐粮油作物(油菜等)、耐盐蔬菜(海水芹菜等)、耐盐香料(薄荷等)以及耐盐饲草等,做到直接利用盐土或利用与改良盐土并举,并实行连片规模种植,以方便利用咸水、海水进行灌溉。

b. 沿海滩涂地带。主要指海堤以外的潮间带和近海区域,该区域土壤类型主要为草甸盐土和沼泽盐土,土壤盐分含量高,可种植耐盐植物,如在新围滩地和潮上带高潮滩大面积推广种植柃柳等高耐盐树种;也可以基于耐盐牧草发展沿海滩涂畜牧业,利用丰富的近海海水资源发展水产养殖业,进行海水蔬菜种植、海产品养殖。这样既可以做到因地制宜充分利用近海沿海地带的海咸水资源获得良好的经济效益,又可以在陆地和近海之间形成一道防止海水入侵的屏障,对沿海地区的地下水资源起到一定的保护作用。

c. 滩涂湿地区域。借鉴国外的成功经验,坚持环保为先的原则,注重当地生态环境保护,重点建设启东长江口北支湿地省级自然保护区。在海堤及滩涂地区积极推进生态林、观赏林和经济林带建设,形成完整的沿海防护林体系,从而形成一道沿海自然生态的保护屏障。同时,可以依托海门蛎蚜山、启东圆陀角和如东黄海旅游度假区等旅游资源,积极引进和发展滨海度假休闲产业,实现滩涂资源开发和沿海生态保护并重,促进沿海滩涂经济、资源生态与社会效益多赢。

d. 针对南通地区不同类型工、农、企业所需水资源特点,配置一定量的不同 TDS 地下水资源以满足不同功能的需水要求;同时通过一定比例关系、不同季节、不同 TDS 地下水开发利用和其他淡水资源的定期定量补给、稀释和淋洗盐分,达到逐步降低地下水 TDS 和地层盐分的目的,构建人为干预下的良性地下水循环系统。

5 结 论

a. 研究区内深层地下水,中、西部地下水水化学演化以正常的水-岩作用为主,东部沿海特别是寅阳镇一带深层地下水则主要因淋滤古海相地层盐分而使 TDS 增高。远离海边的大部分地区浅层地下水 TDS 增高主要与溶解地层盐分和蒸发作用有关,沿海地带尤其是东南角寅阳镇、海晏镇一带浅层地下水由于受到一定程度的现代海水入侵影响,其 TDS 显著增高。

b. 合理开发利用高 TDS 地下水可增加区域水资源量,增强调蓄能力,减轻对深层淡水资源的潜在威胁;地下咸水的开采量逐渐增大,从长远意义而言还可以逐步改良盐碱地,对水土资源利用及生态环境改善有积极的意义。

参考文献:

[1] 单卫华. 江苏南通市地下水主采层水位动态区域演变特征[J]. 江苏地质, 2007, 31 (3), 276-280. (SHAN Weihua. Regional evolution properties of dynamic water level in main extraction sequences in Nantong, Jiangsu [J]. Jiangsu Geol, 2007, 31 (3): 276-280. (in Chinese))

[2] 徐玉琳. 江苏省南通市深层含水系统地下水水质咸化特征及成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13 (2): 45-49. (XU Yulin. The salted properties and its origin for deep aquifer system in Nantong City [J]. Chinese Journal of Geological Hazard Control, 2002, 13 (2): 45-49. (in Chinese))

[3] 周慧芳, 谭红兵, 张西营, 等. 江苏南通地下水补给源、水化学特征及形成机理[J]. 地球化学, 2011, 40 (6): 566-576. (ZHOU Huifang, TAN Hongbing, ZHANG Xiying, et al. Recharge source, hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Nantong, Jiangsu Province [J]. Geochimica, 2011, 40 (6): 566-576. (in Chinese))

[4] 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. (ZHANG Yongxiang, XUE Yuqun, CHEN Honghan. Salt-brine water intrusion and ITS chemical characteristics in Weifang area of southern

[5] 张祖陆,彭利民. 莱州湾东、南沿岸海(咸)水入侵的地下水水化学特征[J]. 中国环境科学,1998,18(2): 121-125. (ZHANG Zulu, PENG Limin. The underground water hydrochemical characteristics on sea water intruded in eastern and southern coasts of Laizhou Bay[J]. China Environment Science, 1998, 18 (2): 121-125. (in Chinese))

[6] 李福林,陈学群,张奇,等. 莱州湾东岸海底地下水的水文地球化学特征及其地球化学演化模式[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 190-195. (LI Fulin, CHEN Xuequn, ZHANG Qi, et al. Hydrogeochemical characteristics and geochemical evolution model of seabottom groundwater along the east coast of Laizhou Bay [J]. Advances in Marine Science, 2005, 23 (2): 190-195. (in Chinese))

[7] 黄敬军,陆华. 江苏沿海地区深层地下水开发利用现状及环境地质问题[J]. 水文地质工程地质,2004(6): 64-68. (HUANG Jingjun, LU Hua. Aquifers and environmental geological problems in the coastal areas in Jiangsu Province [J]. Hydrogeology Engineering Geology, 2004, 31(6): 64-68. (in Chinese))

[8] 田立,钱宇红. 南通市地下水开采现状及开发利用研究[J]. 地下水, 2008, 30(3): 66-68. (TIAN Li, QIAN Yuhong. Exploitation situation and the utilization research of groundwater in Nantong[J]. Ground Water, 2008, 30 (3): 66-68. (in Chinese))

[9] FRENGSTAD B. The pH-dependence of element concentration in crystalline bedrock groundwater [J]. The Science of the Total Environment, 2001, 277 (1/3): 101-117.

[10] GALEATI G, GAMBOLATI G, NEUMAN S P. Coupled and partially coupled Eulerian Lagrangian model of freshwater-saltwater mixing [J]. Water Resources Research, 1992, 28(1): 149-165.

[11] 张远东. 地下水开采总量控制问题与对策探讨[J]. 中国水利, 2012(1): 39-41. (Zhang Yuandong. Control of total groundwater excavation and measures [J]. Water Resources Management, 2012(1): 39-41. (in Chinese))

[12] 李佩成. 贯彻中央一号文件精神, 强化地下水管理与科学研究 [J]. 地下水, 2011, 33(5): 1-4. (LI Peicheng. To implement the central file number one spirit · To strengthen groundwater management and scientific research [J]. Ground Water, 2011, 33 (5): 1-4. (in Chinese))

[13] 周晓妮. 华北平原东部典型区浅层地下水化学特征及可利用性研究[D]. 中国地质科学院, 2008, 12-13.

[14] ORON G, DeMALACH Y, GILLERMAN L, et al. Effect of

[15] VULKAN-LEVY R, RAVINA I, MANTELLI A, et al. Effect of water supply and salinity on pima cotton[J]. Agricultural Water Management, 1998, 37: 121-132.

[16] TEDESCH A, BELTRAN A, ARAGUES R. Irrigation management and hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain) [J]. Agricultural Water Management, 2001, 49: 31-50.

[17] 王全九, 徐益敏, 王进东, 等. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. 灌溉用水, 2002 (12): 156-158. (WANG Quanjie, XU Yimin, WANG Jindong, et al. Application of saline and slight saline water for farmland irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2002 (12): 156-158. (in Chinese))

[18] 张正东. 中国农业高效节水技术体系及其展望[J]. 节水灌溉, 2000, 21 (1): 41-44. (ZHANG Zhengdong. Technical system of high-effective water-saving of Chinese agriculture and its prospects[J]. Water Saving Irrigation, 2000, 21 (1): 41-44. (in Chinese))

[19] 郭永杰, 崔云玲, 吕晓东, 等. 国内外微咸水利用现状及利用途径[J]. 甘肃农业科技, 2003 (8): 3-5. (GUO Yongjie, CUI Yunling, LV Xiaodong, et al. Brackish water utilization and the utilization way at home and abroad[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2003 (8): 3-5. (in Chinese))

.....

由中国水利学会主办, 河海大学、南京水利科学
研究院、江苏省水利学会承办的中国水利学会 2015
学术年会将于 2015 年 10 月 26—28 日在南京召开。
本次年会主题为水安全与水科技, 拟邀请有关领导
作主旨报告, 邀请水利部、中国科学院、中国工程院
等有关方面的知名专家、院士围绕防洪安全、供水安
全以及水与粮食安全、经济安全、生态安全等方面作
大会特邀报告。

年会拟设中国原水论坛、跨流域调水、地下水、
疏浚与淤泥处理利用 4 个分会场及 1 个国际分会
场, 主要围绕饮用水安全、跨流域调水、地下水资源
安全、河湖水环境治理、变化环境下的水科学与水安
全等方面开展学术研讨。年会将正式出版论文集。

(本刊编辑部供稿)

• 76 •