

# 秦皇岛洋河—戴河冲洪积平原第四系含水层 海水入侵机理分析

杨吉龙<sup>1,2</sup>, 韩冬梅<sup>3</sup>, 肖国强<sup>1</sup>, 潘 桐<sup>1</sup>

(1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130026;  
3. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:** 通过对秦皇岛洋河—戴河冲积平原地区枣园水源地野外调查和不同水样的水文地球化学及多种同位素测试分析发现: 1) 该区海水入侵过程中的水化学作用主要是海水与粘土含量高的地层中钙质矿物阳离子的交换; 2) 海水入侵不是沿含水层整体向前推移, 而是存在优先入侵通道(如断层和水势差较大水流方向)和局部入侵速度较快的现象; 3) 深层和浅层地下水水力联系较大, 海水入侵已经影响到深层地下水; 4) 研究区地下水平均氟浓度为 9.86 TU, 地下水平均年龄介于 17.6a ~ 23.7 a 之间, 地下水流速约为 2.11 m/a, 整体上地下水循环路径短, 径流速度快, 地下水交替强烈。这些结果可为以后进一步治理海水入侵和合理利用地下水提供依据。

**关键词:** 洋河; 戴河; 海水入侵; 同位素; 秦皇岛

**中图分类号:** P641.12

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2009)02-0144-06

自上世纪 80 年代秦皇岛发生海水入侵以来, 很多学者从地下水水质调查、海水入侵模拟预报、地下水动态监测方面对该区进行了研究, 并取得了很多的成果<sup>[1~3]</sup>。本次研究笔者在洋河—戴河冲洪积平原上选取了从山区一直延伸到滨海的典型水文地质剖面, 穿过了海水入侵较严重的地区, 沿剖面选采了不同深度地下水水样进行水质简分析和多种同位素组成测试。根据测试结果, 结合当地实际的水文地质状况, 对该区海水入侵的机理和海水入侵的变化趋势进行了分析判断, 意在查清秦皇岛海水入侵的机理并对海水入侵趋势做出预警, 为以后海水入侵治理和地下水合理开发利用提供科学依据。

## 2 水文地质概况

研究区位于河北省秦皇岛市洋河流域北戴河区西侧, 是洋河—戴河冲洪积平原, 属暖温带季风气候, 滨海半湿润区, 平均年降水 720 mm, 降雨集中于 7 ~ 9 月份, 占全年降水的 75% 左右。洋河从本区的西北流入并贯穿平原, 戴河流经研究区东部

边缘, 两条河均于本区南部注入渤海。洋河河长 100 km, 流域面积 1 029 km<sup>2</sup>。上面建有总库容为 3.53 亿 m<sup>3</sup> 的洋河水库, 水库下游的河水受造纸厂污水的严重污染。戴河河长 35 km, 流域面积 290 km<sup>2</sup>, 平均径流量 0.5 亿 m<sup>3</sup>/a, 水质较好。枣园水源地建在洋河—戴河冲洪积平原。

平原区的基底以太古宙片麻类和早元古代混合花岗岩为主。滨海平原第四系覆盖下的基底断裂主要有通过本区南部的昌黎—宁河断裂, 北西向建昌营—大蒲河口断裂。洋河、戴河滨海冲洪积平原第四系孔隙水含水层从山前到滨海是一个完整的含水系统。东部、北部和西部均为自然隔水边界, 仅在三段出山口处接收来自山区的地下水侧向径流补给。基底的变质岩, 火山岩构成隔水底板, 仅在局部地段存在沿断裂溢出的高矿化度地下热水。第四系厚度 5 ~ 80 m, 大部分地区 20 ~ 40 m。含水层岩性主要为中砂, 粗砂夹砾石。除洋河两侧及滨海地段以外, 大部分地区全新统底部存在亚粘土或粘土层, 构成相对隔水层使海岸带地下水处于承压或微承压状态。孔隙含水层地下水埋藏较浅, 处于交

收稿日期: 2009-03-28

责任编辑: 刘新秒

基金项目: 国家地质大调查项目: 环渤海地区重点地段环境地质调查及脆弱性评价(1212010540501)

作者简介: 杨吉龙(1980-), 男, 在职硕士, 水文地质工程地质专业, E-mail: jilong168479852@sohu.com。

替迅速的水循环之中。含水层的淡水补给主要为大气降水入渗、河流入渗、渠系灌溉入渗及井灌回归入渗等。地下水排泄主要为农业、工业和当地居民的开采,潜水蒸发,以及在自然驱动力作用下的向海洋和河流的径流排泄量。

### 3 样品采集与测试结果

本次研究分两次在工作区采取同位素及水质简分析样品,2005年11月,采集 $^2\text{H}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{18}\text{O}$ 同位素样品各24件,氯氟烃(CFCs)11件,简分析40件;作为补充采样,2007年7月采集3个深层地下水样,采样位置见图1。

本次研究采集的样品, $^3\text{H}$ 在中国地质科学院水文地质环境地质研究所利用液闪仪1220Quantulus完成测试;CFCs在中国科学院地质与地球物理研究所实验室利用带电子捕获器(ECD)的气相色谱仪完成测试; $^2\text{H}$ 、 $^{18}\text{O}$ 稳定同位素在中国科学院地理科学与资源研究所利用Finnigan MAT253同位素质谱仪,用TCPEA法完成测试。其它测试在中国科学院地理科学与资源研究所水化学实验室采用日本岛津(SHIMADZU)仪器测试完成(表1)。

## 4 成果分析

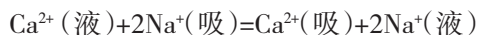
### 4.1 水文地球化学分析

#### 4.1.1 平面上水文地球化学分析

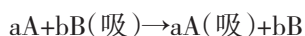
发生海水入侵时,地下淡水中的某些离子的含量受到影响发生变化,导致水化学特征随之改变<sup>[4]</sup>。

在氯离子、钙离子和钠离子浓度与采样点位置关系图(图2)中,采样点位置按该点距离海岸线的远近排列。从此图可以看出地下水中氯离子浓度和钙离子浓度具有相似的变化趋势,海水入侵时钙离子的含量随着氯离子含量的增加而增加,两者具有较好的正相关关系。高盐度的地下水具有 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 含量高的特点,在含水介质中容易发生阳离子交替吸附作用<sup>[4,5]</sup>。阳离子的被吸附力与离子半径和该离子在水溶液中的浓度成正比( $\text{H}^+$ 例外),还与吸附物(如土颗粒等)的表面吸附能力有关。

研究区发生海水入侵以前,地下水中钙离子的被吸附力比钠离子的大,因此钙离子被吸附在土颗粒表面,而钠离子处于游离状态,离子交换严格按照化学当量进行,即



发生海水入侵以后,海水进入地下水含水层及河道,高浓度的钠离子被含水介质吸附,而原先被介质吸附的钙离子被替换进入混合水中,既符合质量作用定律:



式中,A、B为交换的离子,a、b是摩尔数。

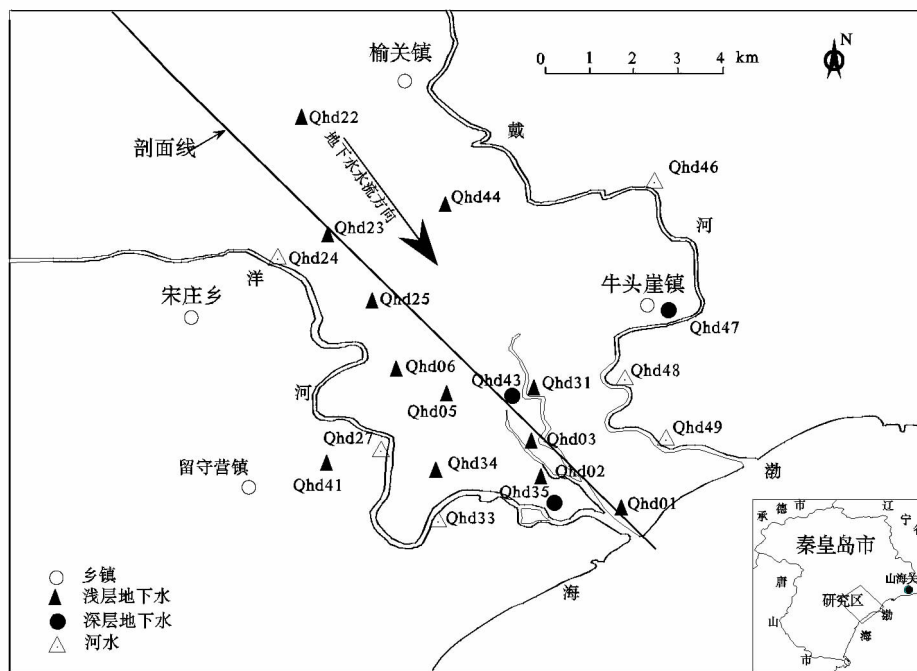


图1 研究区采样位置略图

Fig.1 Water sampling sites in the study area

表 1 地下水样品测试结果  
Table 1 The test results of water samples

| 水样编号  | 深度(m)            | 采样时间          | $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ | $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ | $^3\text{H}(\text{TU})$ | $\text{Na}^+$ | $\text{K}^+$              | $\text{Mg}^{2+}$ |
|-------|------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|------------------|
| Qhd01 | 15               | 2005. 11      | -6. 00                          | -44. 50                      | 9. 40                   | 617. 63       | 55. 19                    | 140. 47          |
| Qhd02 | 30               | 2005. 11      | -5. 98                          | -45. 50                      | 10. 00                  | 214. 04       | 8. 83                     | 33. 01           |
| Qhd03 | 17               | 2005. 11      | -5. 52                          | -43. 50                      | 11. 10                  | 87. 86        | 5. 34                     | 25. 98           |
| Qhd05 | 30               | 2005. 11      | -5. 71                          | -49. 60                      | 11. 00                  | 29. 26        | 0. 59                     | 12. 94           |
| Qhd06 | 16               | 2005. 11      | -8. 11                          | -53. 00                      | 13. 50                  | 113. 92       | 2. 28                     | 31. 52           |
| Qhd22 | 12               | 2005. 11      | -6. 79                          | -57. 00                      | 12. 90                  | 102. 97       | 0. 17                     | 48. 94           |
| Qhd23 | 13               | 2005. 11      | -5. 35                          | -48. 60                      | 11. 30                  | 93. 04        | 2. 14                     | 39. 78           |
| Qhd24 | 河水               | 2005. 11      | -6. 27                          | -53. 00                      |                         | 80. 82        | 21. 42                    | 22. 92           |
| Qhd25 | 32               | 2005. 11      | -5. 42                          | -54. 20                      | 6. 20                   | 237. 25       | 5. 67                     | 18. 16           |
| Qhd27 | 河水               | 2005. 11      | -5. 35                          | -49. 30                      |                         | 78. 91        | 18. 52                    | 24. 03           |
| Qhd31 | 23               | 2005. 11      | -4. 30                          | -45. 20                      | 8. 70                   | 95. 13        | 1. 51                     | 22. 33           |
| Qhd33 | 河水               | 2005. 11      | -2. 95                          | -40. 50                      |                         | 3489. 58      | 85. 15                    | 481. 07          |
| Qhd29 | 海水               | 2005. 11      | -0. 02                          | -14. 10                      | 4. 50                   | 9 893. 07     | 489. 98                   | 1 126. 83        |
| Qhd35 | 90               | 2007. 07      | -4. 62                          | -41. 68                      |                         | 213. 09       | 14. 81                    | 57. 68           |
| Qhd43 | 86               | 2007. 07      | -5. 06                          | -46. 64                      |                         | 66. 21        | 1. 83                     | 17. 92           |
| Qhd47 | 80               | 2007. 07      | -5. 33                          | -47. 42                      |                         | 96. 59        | 1. 83                     | 16. 13           |
| 水样编号  | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$              | $\text{HCO}_3^-$             | $\text{NO}_3^{2-}$      | $\text{F}^-$  | $\text{EC}(\text{us/cm})$ | pH               |
| Qhd01 | 166. 29          | 972. 49       | 407. 96                         | 520                          | 33. 73                  | 21. 17        | 4 180                     | 8. 25            |
| Qhd02 | 27. 86           | 493. 88       | 136. 38                         |                              | 2. 18                   | 1. 68         | 2 240                     | 7. 35            |
| Qhd03 | 18. 43           | 233. 9        | 92. 35                          |                              | 4. 48                   | 0. 90         | 1 193                     | 6. 90            |
| Qhd05 | 42. 89           | 50. 75        | 60. 54                          | 54. 50                       | 45. 71                  | 0. 56         | 605. 00                   | 7. 38            |
| Qhd06 | 153. 36          | 278. 18       | 71. 36                          | 236. 40                      | 83. 2                   | 0. 75         | 1 449                     | 7. 10            |
| Qhd22 | 212. 35          | 236. 74       | 77. 01                          | 410. 20                      | 176. 28                 | 1. 56         | 1 832                     | 7. 11            |
| Qhd23 | 136. 78          | 186. 78       | 98. 96                          | 278. 10                      | 90. 06                  | 0. 86         | 1 402                     | 7. 29            |
| Qhd24 | 77. 21           | 100. 59       | 28. 97                          | 230. 50                      | 113. 07                 | 0. 81         | 1 166                     | 7. 46            |
| Qhd25 | 312. 88          | 573. 69       | 94. 23                          | 451. 10                      | 47. 82                  | 0. 00         | 2 710                     | 7. 35            |
| Qhd27 | 87. 55           | 95. 09        | 18. 61                          | 345. 60                      | 25. 09                  | 0. 99         | 1 120                     | 8. 00            |
| Qhd31 | 91. 65           | 242. 93       | 90. 75                          | 67. 60                       | 27. 82                  | 0. 67         | 1 165                     | 6. 95            |
| Qhd33 | 197. 35          | 6174. 31      | 787. 18                         | 655. 40                      | 55. 54                  | 0. 00         | 17 240                    | 8. 25            |
| Qhd29 | 343. 85          | 20 098. 79    | 2 497. 18                       |                              | 110. 85                 | 96. 30        | 49 500                    | 8. 37            |
| Qhd35 | 31. 96           | 922. 69       | 140. 96                         | 71. 68                       | 2. 81                   | 4. 32         | 3 070                     | 8. 04            |
| Qhd43 | 66. 09           | 174. 1        | 66. 07                          | 126. 15                      | 15. 2                   | 1. 00         | 894. 00                   | 6. 84            |
| Qhd47 | 61. 45           | 166. 36       | 94. 79                          | 143. 35                      | 34. 33                  | 1. 17         | 980. 00                   | 7. 15            |

分析单位:中国科学院地理科学与资源研究所,其中  $^3\text{H}$  是在中国地质科学院水文地质环境地质研究所,  
离子浓度单位(mg/l)

研究区海水入侵使得地下水中钠离子相对减少,钙离子则相对富集,使海水入侵区的硬度发生变化,钠离子和钙离子的交换作为海水进入淡水含水层中与粘土含量高的地层中钙质矿物进行的阳离子交换是主要的水化学作用,可以作为判断发生海水入侵的一项指标。本次研究只定性的说明了海

水和地下水发生了混合,并没有定量说明混合的比例,在今后数据越来越充分的情况下,混合比例可以进行相应研究。

从钙离子和氯离子的变化曲线还可以看出,虽然采样点距海岸的距离不同,离子曲线并没有表现出递增或递减的规律,显示不规则波状,原因主要有:

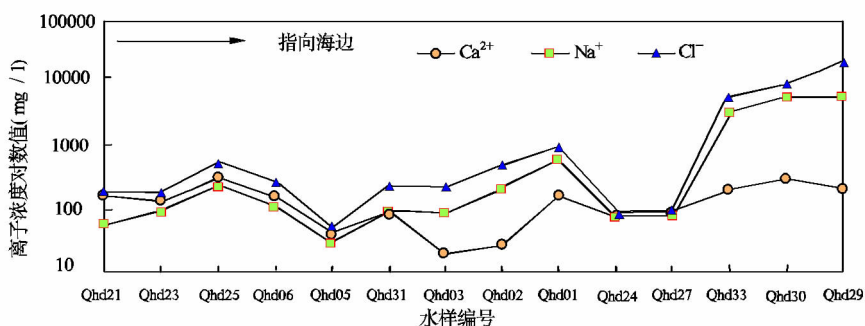


图 2 钙、钠、氯离子浓度与采样点位置关系图

Fig. 2 Relationship between  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$  concentration and samples location

(1)部分处于低谷的点,基本上都在靠近洋河、戴河的中上游位置,河水的水动力大,更替快,河水对这些地区地下水的影响比海水入侵的影响大,所以 Qhd24、Qhd31、Qhd06 表现了河水的性质。

(2)海水入侵不是沿含水层整体向前推移,而是沿构造或地下水水势较大的方向侵入。断裂带易形成海水入侵的优先通道,地下水开采量较大的地区易增加局部海水入侵速度。桃园村的百米井,地下水矿化度高于周围的浅层水,经调查发现,桃园村位于建昌营断裂附近,断裂成为咸水优先入侵通道。枣园水源地地下水矿化度较高,则是开采量较大造成的海水快速入侵。该水源地自 1959 年开始利用,直到 1979 年才发现海水入侵,而且海水入侵速度增加很快<sup>[1]</sup>。近年来,由于关闭了大部分开采井,水质有所变好。

#### 4.1.2 垂直方向水文地球化学分析

为了研究深层地下水和浅层地下水的水力联系程度,笔者做了枣园水源地附近不同深度水样与氯离子的关系图 3。

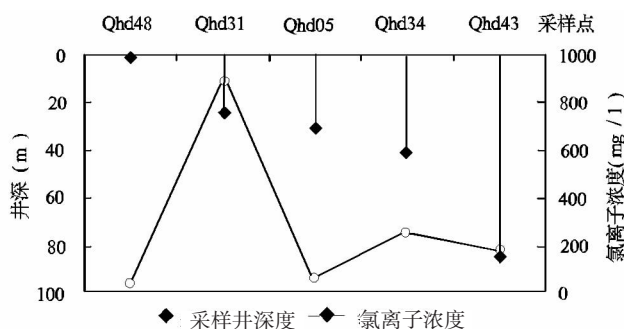


图 3 枣园附近不同深度水样与氯离子关系图

Fig.3  $\text{Cl}^{-}$  concentration in different depth well around Zaoyuan

由图 3 可以看出,从地表水到深层地下水,随深度的增加,氯离子表现出递增或递减的规律。氯离子曲线的这种不规则波状,说明研究区部分地方的深层水已受了海水入侵的影响,垂向不规则也可以说明海水入侵是沿构造或地下水运动速度较快的方向优先侵入的。这次研究对通道的具体位置没有深入研究,需要以后继续投入工作,查明通道的水文地质情况,对海水治理工作提供依据。

本研究在秦皇岛研究区布置了六台地下水水位自计观测仪,三年的记录结果显示,研究区地下水位略有下降,而近百年来渤海海面却呈上升趋势(上升速率为  $2.2 \text{ mm/a}^{[6]}$ ),这种人为和自然的因素导致海水与地下水的水势差加大,使得海水入侵的趋势在不断增加。尽管,最近五六年的综合治理很有成效,海水入侵面积没有持续扩大,与本次研究的地面调查和监测结果很吻合,但海水入侵趋势不断增加,使海水入侵治理工作依然面临挑战。笔者认为,治理好洋河 - 戴河沿岸的生态环境,杜绝河流上游污水的任意排放,充分利用河水进行灌溉,减少地下水的开采,未来可以起到减缓海水入侵的作用。

#### 4.2 多种同位素测试结果分析

##### 4.2.1 地下水中稳定同位素 $^2\text{H}$ 和 $^{18}\text{O}$ 的组成分析

稳定同位素  $^{18}\text{O}$  与  $^2\text{H}$  的含量一般比较固定,陆地淡水中的氘含量总是会超出几十个氘单位,海咸水中几乎为零。因此利用稳定同位素变化来鉴别海咸水与现代淡水的混合是比较容易的。当发生海水入侵时,地下水中的稳定同位素值就表现出混合水的特性。研究区的地下水补给主要受大气降水影响,数据点沿大气降水线分布。本次研究选取的大气降水线是中国大气降水同位素观测点锦州站求

出的降水线 LMWL。该站是距秦皇岛最近的观测站,故用其数据来代表秦皇岛附近的降水线方程。

如图4,研究区2005年11月不同水样的氘-氧的关系图,其中有三个点是2007年采取的深层水样。图中绘制了全球大气降水线 GMWL(Craig, 1961)和中国大气降水同位素观测网络(CERN)中锦州站的大气降水线 LMWL<sup>[7]</sup>。由图中可以看出大部分点都相对集中的落在了当地降水线 LMWL 的左下角,说明它们有一个共同的来源,即大气降水。这与含水层比较薄,地下水的补给基本都来自大气降水的情况很吻合。位于右上方的点之所以偏离了大气降水线,有两种可能,一种由蒸发引起,另一种是与其它水体混合(海水入侵)所致。

从图4还可以看出,深层水样的测试结果也都集中于大气降水线 LMWL 的左下角,说明他们也来源于大气降水,同时也可以得出深层地下水与浅层、地表水有着很大联系性。如果大量开采地下水,就会导致海水入侵深层含水层,目前部分深层地下水已经受到了海水入侵的影响。

研究区第四系含水层较薄,砂层厚度大,导水能力强,渗透系数高,不存在蒸发残留的古水,地下水只能来自现代大气降水,地下水的年龄测试可以说明这一点(后面阐述)。再如图5所示, $\delta^{18}\text{O}$  趋于零时, $\text{Cl}^-$  浓度随之增大,最上面的海水测试点与趋势线拟合很好,说明图4中偏离大气降水线的点是由海水入侵所致。

#### 4.2.2 研究区氡浓度与氟利昂测年研究

氡( $\text{T}$  或  $^3\text{H}$ )是氢的放射性同位素,半衰期为12.35年。循环水中的氡有天然氡和人工氡,由于天然氡和人工氡在大气层中形成氡水后遍布于整个大气圈,降水对现代环境水起着标记作用,相当于

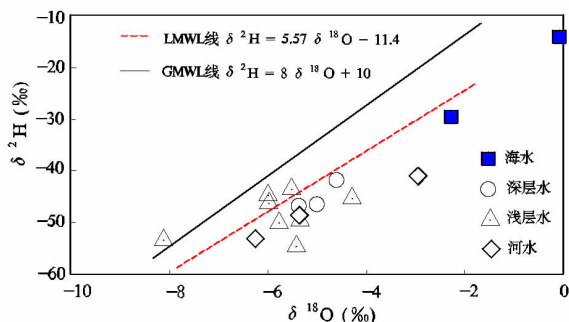


图4 不同类型水体氘氧关系图  
Fig.4 Relationship between  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$   
of different kinds of water

一次大规模全球的示踪试验,因此可以利用这一示踪过程来研究和追踪地下水的运动状况<sup>[8,9]</sup>。除对氡的研究外,近年来利用人工释放所产生的 CFCS 作为示踪剂测定地下水年龄的方法受到广泛的关注,CFCS 法被认为是确定50年来补给形成的年轻地下水年龄的有效工具<sup>[10-12]</sup>。

本次研究对24个水样做了氡同位素测试,对11个水样做了氟利昂测试,氡浓度测试值介于4.5~13.0 TU,平均值为9.86 TU,根据氟利昂浓度推算的年龄介于15~41 a,平均年龄介于17.6~23.7 a之间。根据补给区与采样点的距离、采样点地下水的测试年龄,部分采样点距离差和年龄差,推算出研究区地下水流速约为2.11 m/a。地下水流速较快,地下水更替较快,如果采用科学的地下水资源管理方法,合理开采地下水,海水入侵趋势就会缩减,研究区的生态也可逐渐修复<sup>[13]</sup>。

## 5 结论

(1)秦皇岛滨海平原区,第四系含水层中砂层厚度大,导水能力强,渗透系数高,地质构造发育,强烈的集中开采地下水形成了海水入侵的优先入侵通道,增加了局部海水入侵的速度。

(2)现状条件下,研究区已形成了一定的海水入侵范围,尽管近两年当地地下水开采布局的调整已获成效,海水入侵范围没有进一步扩大,但研究区的生态地质环境非常脆弱,完全修复比较困难。

(3)通过对研究区地下水中稳定同位素的研究认为,研究区的地下水主要来自大气降水,同时发现浅层地下水和深层地下水具有较好的水力联系,部分深层地下水已经受到了海水入侵的影响。

(4)研究区普遍接受现代水补给,循环路径短,

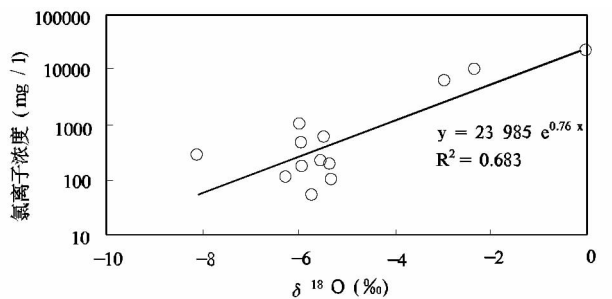


图5  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\text{Cl}^-$  关系图  
Fig.5 Relationship between  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\text{Cl}^-$

径流速度快,地下水交替强烈。通过氡和氟利昂的研究,估算出研究区平均氡浓度为 9.86 TU,地下水平均年龄介于 17.6 ~ 23.7 a,地下水流速约 2.11 m/a。

#### 参考文献:

- [1]安洪声,王成.秦皇岛市海水入侵现状及机理浅析[J].中国环境管理干部学院学报,2003,1:16-19.
- [2]韩再生.秦皇岛洋河、戴河滨海平原海水入侵的控制与治理[J].现代地质,1990,4(2):105-115.
- [3]黄歆宇,张继伟,王红旗.基于 GIS 的秦皇岛地区海水入侵过程可视化系统的设计与开发[J].海洋信息技术.2005,2:4-7.
- [4]卢继强,陈刚,胡成.滨海地区海水入侵的水化学和同位素证据——以沿海某市典型地段为例.勘查科学技术,2004,3:22-26.
- [5]周训,等.北海市滨海含水层海水入侵的水化学判别[J].勘察科学技术,1997,(2):9-13
- [6]国家海洋局《2006 年中国海平面变化公报》[B],2007.
- [7]宋献方,柳鉴容,孙晓敏等.基于 CERN 的中国大气降水同位素观测网络[J].地球科学进展,2007,7(22):738-745.
- [8]文冬光.用环境同位素论区域地下水资源的属性[J].中国地质大学学报,2002,(3):141-146.
- [9]谢昌运,庞西歧.环境同位素技术在渭北矿区地下水研究中的应用[J].煤炭科学技术,1994,22(2):47-50.
- [10]秦大军.地下水 CFC 定年方法及应用.地下水[J].2005,25(6):435-437.
- [11]秦大军.影响地下水 CFCS 定年的主要因素[J].自然科学进展,2004,14(10):199-202.
- [12]秦大军.用氟里昂(CFC)数据确定地下水的补给年龄[J].地质评论,2002,48:210-213.
- [13]林学钰,廖资生,赵勇胜,等.现代水文地质学[M].北京:地质出版社,2005.

## Mechanism of the Seawater Intrusion in Quaternary Aquifers between Yanghe-Daihe Rivers, Qinhuangdao Area

YANG Ji-long<sup>1</sup>, HAN Dong-mei<sup>2</sup>, XIAO Guo-qiang<sup>1</sup>, PAN Tong<sup>1</sup>

(1. Tianjin Institute of Geology and Resources, Tianjin 300170, China; 2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China; 3. Key Laboratory of Water Cycle and Related Surface Process, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, China Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** Through the field investigation and water sample test and hydrochemical and multi-isotopic measurement in Zaoyuan well field of Qinhuangdao, it can be found that the main hydrogeochemical behavior is cation exchange reaction between sodium and calcium-riched materials in high clay content sediments during the seawater intruding the fresh aquifer. In this study area, the seawater intursion is not entirely moving towards inland with parallel patterns. There are preferential intrusion channels, which result in the local fast seawater intrusion, such as at fault zones and in direction of higher hydraulic gradient. It also can be found that there is great hydraulic connection between deep and shallow groundwater, and the deep groundwater has been affected by seawater intrusion. The mean tritium contents in groundwater is 9.86 TU with mean groundwater age of 17.6 - 23.7 a. The mean groundwater velocity is about 2.11 m/a. Generally, groundwater has short flow path with fast flow velocity. This study can provide evidence for further taking counter measure to prevent from seawater intrusion and rehabilitate groundwater.

**Key words:** Yanghe River; Daihe River; seawater intrusion; isotope; Qinhuangdao