

天津市平原区深层淡水咸化—咸水下移问题讨论

王兰化

(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

摘要: 本文根据天津市平原区地下水动力场、化学场的演化特征、地下水水质的变化探讨了天津市深层淡水的咸化问题, 并依据地下水环境同位素、含水层地层结构的研究对咸水下移问题进行了初步讨论, 认为天津市南部平原区深层淡水尤其是第Ⅱ含水组地下水已受到咸水下移的影响, 地下水环境正在不断恶化。

关键词: 地下水动力场; 地下水化学场; 咸水下移; 溶质运移; 同位素分析

1. 地质环境背景

天津市地下水的赋存受地质构造、地貌、水文和古地理条件的控制, 从山前平原向滨海平原水文地质条件由简单到复杂, 呈现出明显的水平分带规律。

平原区地下水的分布和富水特征受地貌和水系分布的影响, 由北部山前平原向滨海平原, 沉积物由冲洪积层过渡为冲积层、海积冲积层和冲积海积层, 沿此方向, 含水层颗粒变细, 在含水层岩性结构上, 由砂砾石层向南递变为中粗砂、中砂、中细砂和粉细砂, 富水性逐渐变差, 浅部水质变咸, 由全淡水区变为有咸水区, 且咸水体增厚, 咸水底界埋深逐渐加大, 由北部小于 40m 变为 160-200m, 至大港一带第Ⅱ含水组全部为咸水, 供水条件变差, 有咸水区约占全市面积的 85%以上。平原区北部水资源相对丰富, 但面积较小, 平原区南部咸水广泛分布, 淡水资源较贫乏。

平原区地下水的分布和富水特征明显受古地理条件和沉积环境的控制, 特别是古水系和河道带的分布决定了含水介质和富水特征。在北部州河和沟河冲积扇, 东北部蓟运河、古还乡河冲积扇, 西北部永定河、潮白河古河道带, 西南部大清河、子牙河古河道带, 含水层颗粒较粗, 厚度较大, 导数系数大, 水量丰富, 单井涌水量均在 1000-3000m³/d或大于 3000 m³/d。这些地区是全区富水条件最好的地区。而在山前平原的山麓地带, 由于多沉积厚层坡洪积粘土层, 无含水层分布或厚度较薄, 因此出现了近山地带水量较小的反向分带特征。在州河和沟河冲积扇间地带, 含水层变薄, 颗粒较细, 富水性较差。

松散岩类孔隙水广泛分布于广大平原区, 按埋藏条件和水文地质特征可分为四种类型: 全淡水、浅层淡水、咸水和深层淡水。全淡水主要分布于山前平原, 约占全市面积的 14.7%, 主要为冲洪积层和冲积层, 含水层颗粒粗, 富水性强, 埋藏稳定, 补给条件和径流条件好, 水资源丰富。浅层水和深层水均为淡水, 但以浅层水更为发育, 具有较大的开采潜力; 浅层淡水主要分布于宝坻断裂南侧和西部永定河、大清河、南运河、子牙河古河道带及现代河流两侧, 约占全市面积的 22.3%。主要由河流与灌溉入渗淡化形成而浮于咸水体之上, 厚度较薄, 含水层颗粒细, 水量不大; 咸水体分布于宝坻断裂以南地区, 约占全市面积的 63%, 其中矿化度大于 3g/l 的咸水占 49%, 主要由多次海侵以及大陆盐渍化作用形成, 其含水层颗粒细、单层厚度薄、富水性差, 加上水质咸, 目前很少利用。埋藏于咸水体之下的深层淡水广泛分布于南部平原, 其含水层厚度大, 层次多, 古河道带颗粒较粗, 储水条件好, 富水性较强, 但补给条件较差。目前深层淡水开发利用较广, 南部平原普遍超采, 市区及近郊、滨海地区已严重超采, 并形成多个水位下降漏斗, 同时产生了地面沉降等一系列环境地质问题。

2. 地下水动力场的特征

2.1 浅层地下水动力场

根据历年水位监测资料分析，天津市浅层地下水水位动态基本稳定，中南部咸水分布区水位保持天然状态，北部全淡水区虽受开采影响，仍基本保持天然流场状态。

2.2 深层地下水动力场

深层水原始流场主要受地形控制，六十年代天津市外围津南区、东丽区深层地下水水位均高出地面 3-5m，地下水总体流向自北而南及北西向南东，最终向渤海湾排泄。

第 II 含水组广泛分布于天津市平原区（大港区除外），自七十年代以来经过多年大规模开采，到 1981 年已形成以天津市市区为中心的区域水位下降漏斗，漏斗面积按埋深 10 米封闭线计算为 15200km²，漏斗中心水位 69.66 米。漏斗范围：东起河北省柏各庄农垦区，西至河北省永清县、坝县一带，北由河北省丰南~安次一线，向南至沧州市。多年水位变化：据 1973-1981 年水位资料分析，年平均水位下降值在北部全淡水区小于 0.6 米，南部有咸水区大于 1 米，市区一般大于 1.5 米。

由于强烈开采地下水，致使 III-IV 组深层地下水水位连年大幅度下降，不仅各地集中开采区形成水位下降漏斗，且相互影响造成区域水位下降。至 1981 年天津市市区水位埋深达 87.88 米，漏斗面积按 10 米埋深线计算为 26100 平方公里。漏斗范围：南至河北省南皮县，西至河北省河间县，北起天津市武清区、宝坻区，东至河北省柏各庄农垦区。

深层水现状流场主要受开采控制，表现为迳流—越流—开采型动态特征。在北部地下水总体流向自北而南，向南部由于开采影响，流场变化复杂。

在宝坻断裂以北地区，年内水位受灌溉开采和降水量影响，总体来看地下水尚能保持采补平衡，多年水位变动不大。

在宝坻断裂以南地区，由于深层淡水超采量较大，总体呈水位持续下降趋势，并形成了市区、塘沽、汉沽、大港、武清、静海几个下降漏斗，深层淡水水位均在 30m 以下，尤其以大港、汉沽和西青区深层水水位下降最大，漏斗中心水位埋深最深已逾百米。

2002 年天津市深层地下水第 II 含水组水位标高在中南部地区除市区局部地区外，均超过 -20m，并且形成了武清、汉沽、静海等几个漏斗中心。其中以汉沽和静海漏斗 -50m 封闭等水位线面积最大，武清漏斗中心水位下降速率最大。

第 III 含水组出现了静海-大港、宁河-汉沽、武清三个漏斗区，以静海-大港漏斗分布面积最大，水位最深，其中含着水位埋深超过 80m 的三个漏斗中心，低于 -60m 等水位线圈定面积积达 2836.00Km²。以西青区杨柳青漏斗中心水位最深，水位埋深达 100.76m。

第 IV 含水组已形成西青区张家窝、静海县城区、津南区葛沽镇、武清城区、宁河-汉沽等几个漏斗中心区，其中前四个漏斗已连成一片形成天津南部复合大漏斗，水位低于 -60m 等水位线面积积达 4340.77Km²，其中津南区葛沽镇漏斗中心水位埋深达 104.19m，其它漏斗中心水位均超过 80m。该漏斗已延伸至河北省境内，形成一个大范围复合漏斗。该含水组近十年来水位下降速率最大的为静海县城区和武清城区，均超过 1.8m/a。

强烈的地下水开采，不仅导致了区域地下水水位的大幅度持续下降，从而形成区域地下水降落漏斗，而且也造成了区域地下水流场的显著变化。尤其是天津市中东部和滨海平原区，深层地下水流向由开采初期的自北向南和自西北向东南流入渤海湾，变为向地下水漏斗区的汇流，地下水流向复杂多变；同时，地下水位逐年下降，由开采初期的滨海地带高出地表到形成地下水降落漏斗，而且漏斗区不断扩大，与河北省的沧州漏斗已连成一片，形成了华北平原最大的区域性复合大漏斗。

3、区域地下水化学场特征

3.1 浅层孔隙水水化学场

浅层孔隙水因受地貌和循环条件的影响，而呈现出自北而南和由北西向南东的水平水化学分带规律，地下水由低浓度场的超淡溶滤水、微咸水变为高浓度场的咸水和盐卤水，表现出水化学分带与水动力分带的一致性。沿此方向，水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\rightarrow\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}\rightarrow\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Na}\cdot\text{Ca}\rightarrow\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\rightarrow\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}\rightarrow\text{Cl-Na}$ 型，矿化度也由山前平原 $<0.5\text{g/l}$ ，过渡到滨海平原 $>10\text{g/l}$ 。其中 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 水和 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 主要分布在北部山前平原，为全淡水区的主要水化学类型，矿化度多小于 1g/l ； $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Na}\cdot\text{Ca}$ 和 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 水主要分布于咸淡水界线南侧和西部，多属于浅层淡水、微咸水和咸水淡化带的水化学类型，矿化度在 $1\text{-}2\text{g/l}$ 或 $2\text{-}3\text{g/l}$ ； $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 和 Cl-Na 水主要分布于南部平原中部和东南部滨海带，为咸水水化学类型，矿化度 $3\text{-}30\text{g/l}$ 。

天津市平原全淡水区和有咸水区中的浅层淡水分布区 1980 年TDS小于 2g/l 的面积为 3376km^2 ，1992 年TDS小于 2g/l 的面积为 3326km^2 ，减少了 50km^2 ，主要表现在武清区浅层淡水面积缩小和宝坻东南部、宁河县淡水面积稍有增大，浅层地下水CL 超标区略有增加，但 SO_4^{2-} 在宝坻东部减少；总硬度超标面积扩大。1980 年至 1992 年，天津市平原区西南部浅层淡水分布区（市区和静海西部）面积由 873km^2 增加到 1045km^2 ，主要表现为市区浅层淡水的分布面积增大，而西青区浅层淡水面积消失且氯离子超标。总体来看，天津市有咸水分布区浅层淡水分布面积虽变化不大，但在武清区咸水面积却增加较多，这是因为沿现代河流两侧分布的浅层淡水，因多年干旱，河水断流，对地下水的补给不足，造成咸水的侧向入侵有关；而市区范围浅层淡水面积增大，则与大面积的环境绿化和其它原因使用大量淡水下渗淡化咸质潜水有关。宁河县历年来以开采深层地下水作为农灌用水的主要水源，灌溉淡水下渗使浅层地下水有淡化趋势；说明人类生产和经济活动及地下水的大量开采，已使局部的地下水化学场发生变化。

天津市浅层地下水化学环境有不断恶化的趋势，山前平原区主要宏量组分呈现不断增高的趋势，地下水中有有机指标COD、三氮等含量大范围超标，使地下水使用功能降低，这与人类的生产经济活动有直接的关系，浅层地下水已受到农业施用化肥和化肥厂废水超标排放的污染。中东部及滨海平原区浅层淡水和浅层咸水水质动态表现为：①波动性上升型；②基本稳定型；主要为咸水层中部的高矿化咸水和全淡水区的山前地带的浅层淡水。③波动性下降型；主要指天津市市区潜水。另外，浅层地下水中硝酸盐、 NH_4^+ 、COD、挥发酚等有机物污染指标含量较高。除工业区排放污水的影响外，在农业区范围内其含量较高与引污水灌溉导致污水下渗有关。

3.2 深层孔隙水水化学场

因深层水含水介质主要为冲积层和冲湖积层，故不同深度含水组具有相似的水化学场特征。由于含水介质含盐量较低，因此深层孔隙水均为矿化度小于 2g/l 的淡水，矿化度多在 $0.5\text{-}1.5\text{g/l}$ 。

由北部山前平原向南部平原，含水层颗粒变细，迳流条件变差，地下水由强迳流带过渡到迳流滞缓带和排泄带，呈现出由北向南的水平水化学分带规律，反映出水化学分带与水动力分带是一致的，沿此方向，水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}\rightarrow\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}\rightarrow\text{HCO}_3\text{-Na}\rightarrow\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Na}\rightarrow\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\rightarrow\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 型，矿化度由北部 $<0.5\text{g/l}$ ，向南增高至近 2g/l 。 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 水和 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 主要分布在北部山前平原和还乡河古河道带，为补给迳流带的水化学类型，矿化度多小于 0.5g/l ； $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 水主要分布于天津市中部平原区，分布面积较大， SO_4^{2-} 含量较低，矿化度 $0.5\text{-}1.0\text{g/l}$ ，为迳流带的水化学类型； $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl-Na}$ 水主要分布

于市区和海河南侧、武清中部一带，处于迳流带与滞缓带的过渡带，矿化度 0.8-1.2g/l； $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ 和 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 水分布于静海南部和大港一带，处于迳流滞缓带，矿化度 1-2g/l。

多年来第 II 含水组地下水在山前平原和中部平原区 COD、铵氮、亚硝酸氮超标污染严重，随着南部平原区第 II 含水组地下水开采量的不断增加，漏斗区的主要常量组分 TDS、Cl、 SO_4 表现为含量总体升高的趋势，2002 年与 1992 年比较，地下水矿化度 1mg/l 分界线及氯离子超标界线总体上北移，地下水矿化度 >1mg/l 的分布面积扩展了 388.81km²，氯离子超标面积增加了 867.52 km²，尤其在静海县中部、西青区、津南区东南和塘沽区南部，第 II 含水组形成漏斗已有多多年，浅、深层地下水有较大的水位差，造成上部咸水的下移，再加上临近大港区的深层咸水的侧向径流造成的咸水入侵，均使该地区地下水呈现出不断咸化的趋势。另外，第 II 含水组毒物组分中仅酚有个别点有检出超标现象，砷有检出现象，其它氰、汞、铬等组分均低于检出线。

历年水质分析成果表明第 III、IV 含水组地下水尽管经过多年开采，而且已形成水位下降漏斗，但在过去的 30 年来，水质并无明显变化，TDS 多年来呈波动状态，总体上无明显上升和下降趋势，水化学类型稳定。

4、开采条件下咸水下移及溶质运移

4.1 开采条件下咸水下移影响因素和特征分析

(1) 地下水水质的变化

① 浅层咸水淡化

天津市市区的浅层地下水水质监测始于 1981 年，主要的监测层位为潜水和少部分咸水，后由于监测井逐年较少，至 1994 年停测。天津市市区依海河建市，由于海河水的岸边渗漏和城市环境用水下渗，在市区范围内 10m 以内的潜水多为 TDS 小于 2g/l 的淡水；而埋藏深度在 10-60m 的地下水则为咸水（市区南部底界超过 120 m），TDS 为 2-14g/l。在九十年代以前，市区浅层地下水多分散开采，用作工厂冷却循环水。

笔者本次统计钻孔共 25 个，市区潜水 TDS 多数呈现为下降趋势，TDS 表现为淡化趋势的有 18 个，占统计钻孔的 72%；TDS 表现为稳定型的钻孔一般为埋深 30m 左右的咸水观测孔，各离子含量基本稳定。

天津市市区浅层咸水淡化主要原因为：①因不断接受河水侧渗和环境用水下渗补给淡化所致；②由于市区生产废水、生活污水的排放，一些污水管道损坏造成污水外溢，同时造成地下水有机污染；③排水管道的跑、冒、滴、漏的影响；④地面沉降造成地势低洼，雨后积水下渗；此外，改革开放以来，近郊区大量蔬菜种植基地和养鱼池的建设均对浅层地下水有淡化作用。另外，郭永海、沈照理等认为浅层咸水的淡化与深部咸水下移有关，即深部咸水一旦下移，其本身的水量均衡受到破坏，必然通过压力传导与中段咸水沟通而获得水量的补给，进而波及浅部咸水，这就势必引起中部和浅部咸水水质的相应变化⁽²⁾，笔者认为天津市市区浅层咸水淡化与上述影响也不无关系。

② 区域深层淡水咸化的特征

天津市中南部平原区深层地下水的咸化问题，主要原因有两点：一者为早期成井工艺差，止水不严或已报废的废弃井，上部咸水沿井壁下渗所致；二者是由于大量开采深层淡水，使深层淡水与上覆咸水的水位差增大，导致咸水下移所致。在大港区北部和静海县东南部还有由于超量开采深层淡水导致的滨海地区的深层咸水入侵。

从表 1 中一些典型机井资料说明了咸水下移在南部平原区第 II 含水组上部含水层中是广泛存在的区域问题，这些地区也是多年来的深层地下水位降落漏斗区，这些机井地下水 TDS 均明显上升，其咸化程度与咸水底界距取水段的距离及咸淡水间的地质结构特征有关，

钻孔滤水管距离咸水底界越近,地下水咸化越严重。总体来看,中部平原区(除局部地段外)水质较稳定,地下水主要组分矿化度无明显增高趋势;南部平原区第II含水组地下水水质有咸化趋势,主要集中在市区、静海县、武清县南部、塘沽区。

表1 天津市南部平原区第II含水组地下水TDS变化对照表(mg/l)

Table 1 TDS variety of the Groundwater of aquifer II in the middle south plain area of Tianjin (mg/l)

孔号	位置	咸水底界/m	取水段/m	TDS(起始年)	TDS(终始年)
125039	中国大戏院	75	78-106	757.17(1965)	2092(1999)
501051	染化二厂	100	119.08-128.69	1203.1(1968)	2329(1996)
120116	南仓给水所	60	102-171	508.67(1981)	646.40(2000)
92169	天津啤酒厂		86.62-130.21	1837(1988)	2871.9(1991)
120122	华光电子器件厂		82.1-116.1	641.42(1981)	804.4(2000)
205065	天津自行车胎厂		128.93-152.23	1478.3(1982)	1715.2(1997)
416044	天津轧钢三厂四车间		125.39-172.02	587.8(1987)	839.2(2000)
2032	刘安庄农场		95-175	521(1984)	612.7(2001)
1022-1	立新园林		112.54-121.99	612.5(1967)	1153.5(1999)
	静海水泥厂	60	103-138	812.9(1993)	1154(1996)
	静海安庄子	120	184-234	972.9(1993)	1060.6(2001)
	静海李八庄	85	176-196	791.0(1993)	877.2(2001)
	邓善沽19队		II组(井深不详)	739.64(1980)	921.4(1987)

③典型地区—天津市市区及近郊区水化学特征

1985年以前第II含水组一直是市区、近郊区地下水的主要开采层组,在八十年代前后,该组地下水年开采量为4000万m³左右,约占市区地下水总开采量的40%,大规模的开采使市区形成了水位埋深大于60m的水位降落漏斗;自1985年以来,为控制地面沉降大量压缩第II含水组开采量,目前,市区近郊区该组开采量已下降到300多万m³左右。

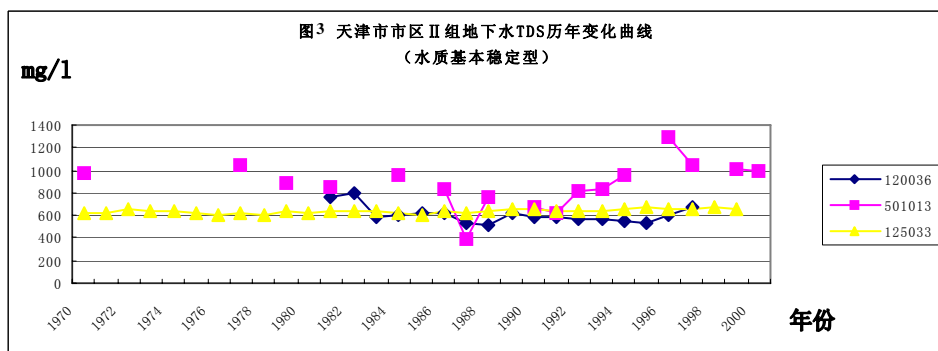
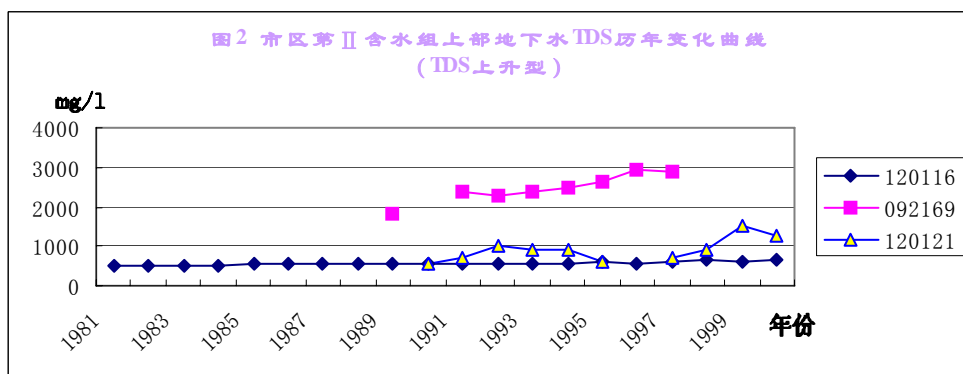
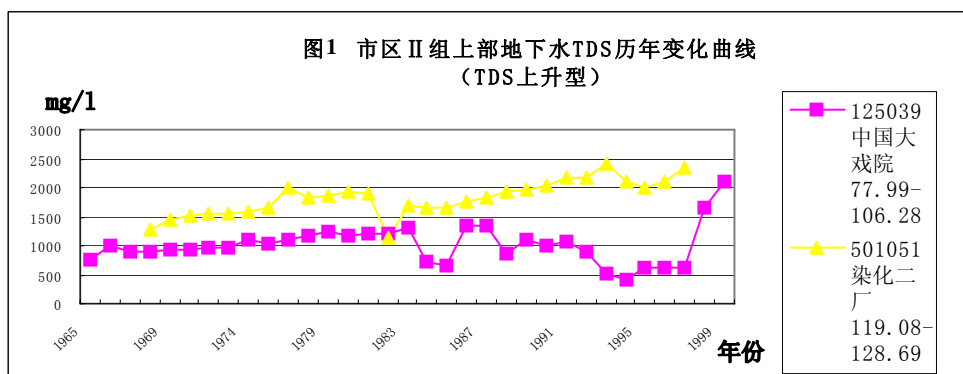
按传统习惯一般将市区第II含水组划分为上部含水层(埋深60-130米)、中下部含水层(130-178米),自七十年代以来,II组地下水中的主要常量组分绝大多数均呈现出上升的趋势,水化学统计资料表明,TDS含量增高的有10个孔,占统计钻孔的63%,而另外还有2个为回灌井,TDS有淡化趋势。从水质动态来看,可分为三种动态类型(图1、图2、图3、图4):①主要常量组分上升型;为该层地下水的主要类型,如中国大戏院的125039、染化二厂的501051井多年来TDS、Cl、SO₄、总硬度呈现逐渐增大的特点。②水质基本稳定型,主要位于市区的北部地段或中下部含水层;③回灌淡化型;主要位于市区的中部海河两岸,由于回灌井集中,回灌量较大,该地段地下水被人工淡化。总体而言,天津市市区及近郊区II组上部地下水已受到咸水入侵的影响,具体表现为地下水中主要常量组分逐年增高,地下水TDS为1g/L的平面分界线逐渐南移,其咸化的原因主要有两个方面:①咸水下移造成的污染,即由越流造成的咸水下渗作用,其特点为影响范围广,但变化速率相对较小,其水化学组分表现为自某一时期始呈现缓慢增加的趋势,但短期内水化学类型未改变,它具有区域上的特点,尤其在地下水位降落漏斗范围内,由于咸水和II组地下水巨大的水位差,使咸水越流进入第II含水组,造成二组地下水咸化,市区南部、东南部和近郊区II组上部含水层地下水均表现出此类现象。②成井工艺不良和混合开采造成的咸化,在早期开凿的机井这种现象更为突出,由于水文地质情况不明和成井工艺差,止水效果不好,致使咸水串层,其污染的特点为在短时间内,水质迅速恶化,TDS超过2g/L,水化学类型为L-N或L-S-N型;另外七十年代末大量废弃井的存在,也是上覆咸水向下转移的通道,当时II组报废井271眼,约占该组井总数的一半,多集中在市区东南部,这些废井未按规定回填,使得遭到咸水腐蚀的井管成为咸水下移的通道,此类咸化现象具有影响范围小,污染程度高的特点,由于这些地区正

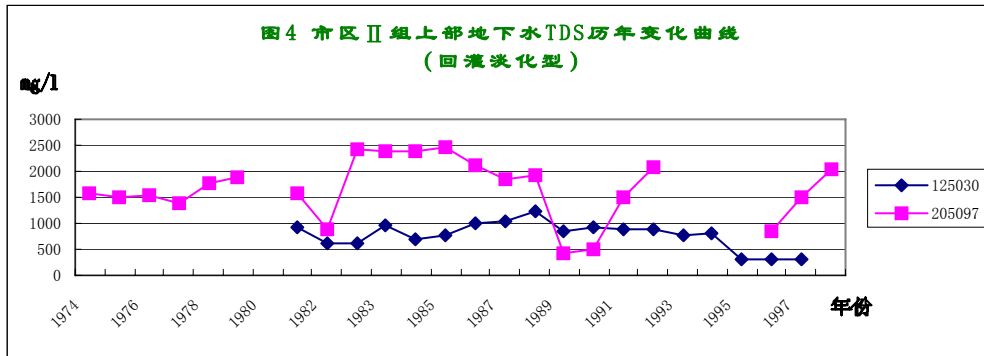
是地下水开采量最大的降落漏斗中心区,这些废井和不合格井的大量存在给咸水下移的速度起到了推波助澜的作用。此外,一些 I~II 组混合开采井也是上部咸水向下转移的途径,使 II 组上部含水层地下水水质迅速恶化,此类开采井周围水质最差。

市区、近郊区第 II 含水组中下部含水层地下水水质多年变化也大致可分为以上三种动态类型,但总体水质动态稳定,说明区域上的咸水下移对 II 组下部地下水的影响较小,TDS 表现稳定的孔为 11 个,占统计钻孔的 50%,而其它钻孔中 TDS 大部分也表现为波动性变化,仅市区中部和南部的一部分钻孔由于成井质量较差造成了 TDS 和其它组分表现为增高的趋势。

天津市市区和近郊区第 II 含水组地下水中 COD、铵氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮具有较高的检出率,其高值检出率达 79.5%,并时有超标现象。酚、氰、砷等毒物组分也有超标,氟离子超标则是第 II 含水组的普遍现象。

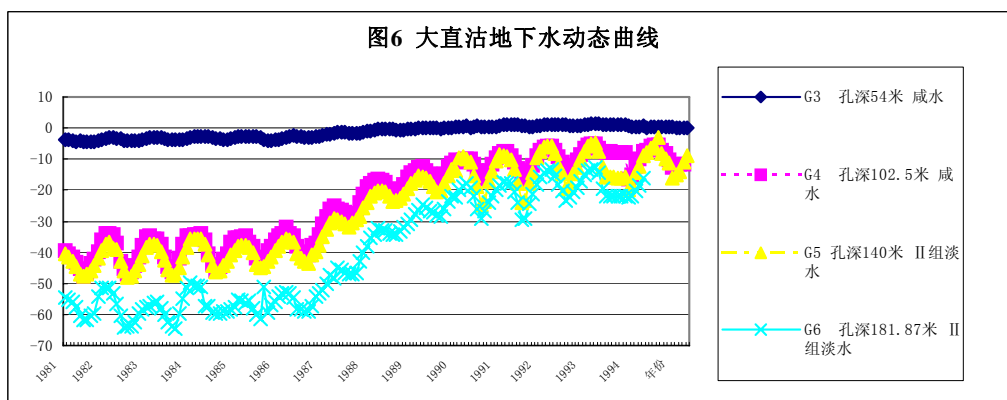
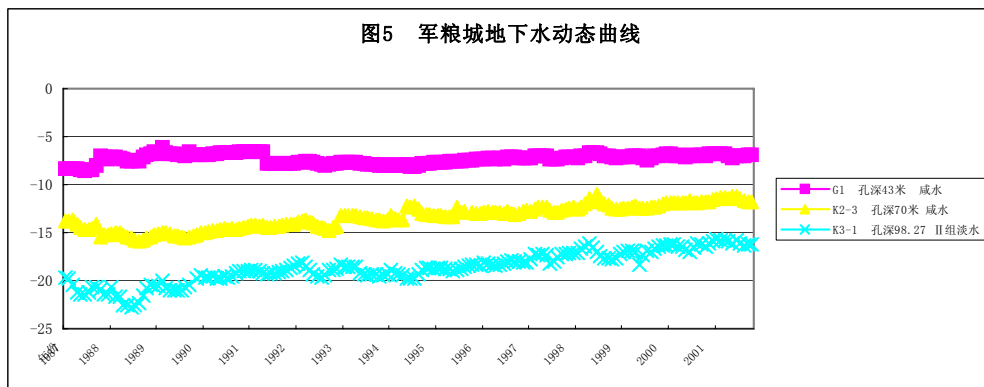
天津市市区和近郊区 II 组地下水水质正在趋向恶化,主要表现为常量组分含量的增加(水质咸化),在市区的南部和东南部,第 II 含水组污染程度较重,部分地段严重污染,已完全不适宜生活饮用。





(2) 开采条件下咸水与下伏淡水的水位动态关系

图 5-图 6 是天津市第二含水组地下水开采量较大的区域中两个有代表性的水位动态曲线，曲线显示出开采条件下深层淡水与其上覆咸水具有一定的水力联系，咸水与淡水距离越近，水力联系越密切，图 6 埋深 50 米以上的咸水水位稳定，不受开采影响；而位于咸水底界的 G4 孔咸水与其下伏的 G5、G6 孔深层淡水有明显而一致的水力联系，从而印证了开采条件下咸水对淡水的越流影响。



(3) 地下水同位素的分析也显示出强烈开采条件下深层淡水尤其是第二含水组地下水得到了近代水的补给。

根据近期取得的同位素测试资料分析，深层水 δD 、 $\delta^{18}O$ 值较浅层水值低，较降水值低很多，显示古渗入水特征，其形成较早，且气温较低。其 ^{14}C 年龄为 10000-20000 年，表明深层淡水为更新世晚期冰期或间冰期形成的古渗入水，为长周期循环水。

深层水在垂向不同深度含水组(第 II、III、IV、V 含水组)，自上而下 δD 、 $\delta^{18}O$ 值，变化不明显，表明其形成条件基本一致，有一定的水力联系。深层水在水平方向上 δD 、 $\delta^{18}O$ 值大体有沿地下水流向自北向南逐渐降低的趋势，表明迳流条件变差，但由于受含

水系统结构和补给条件的影响，往往使这一规律变得不明显。

从氡测试结果看，随着含水层埋藏深度加大，氡含量降低，反映接受降水补给条件变差，以浅层水氡含量较高，相对而言，深层淡水含水组中，以第II含水组氡含量较高，补给条件较好，总的看，深层水除个别含量小于1TU，显示古水特征外，绝大部分含量在4-10TU，在补给条件好的古河道上游地区，多在10-20TU，表明以近代新水补给为主。对比八十年代初取样测试资料(表2)，深层水氡含量较八十年代含量高，表明深层地下水经过几十年的大规模开采，使水动力条件改变，水平迳流和垂向越流均有所增强，加强了水交替，促进了地下水循环，而以近50年来大气降水渗入补给的地下水占优势。

表2 天津市南部平原区不同时期地下水同位素组成特征对比表

Table 2 comparison of groundwater isotope constitutes characteristic at different period in the south plain area of Tianjin

地段	含水组	1983年4月测试结果				2000年11月测试结果			
		孔号	T (TU)	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)	孔号	T (TU)	δD (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)
汉沽大神堂	2	普19	0.89±.21	-72.84	-9.87	HHG15	10.39±2.21	-67.9	-8.97
	4					HHG14	10.26±2.97	-68.5	-9.69
东丽军粮城	2	2268	0.44±.22	-74.64	-9.71	DDL22	13.76±2.27	-65.8	-9.37
塘沽	2	H2	1.70±.27			TTG36	9.58±2.66	-71.8	-9.84
		H1	2.00±.3			TTG43	4.06±1.82	-74.6	-10.35
	3					TTG45	3.39±2.56	-74.1	-9.29
						TTG34	9.15±2.01	-71.3	-10.2
天津市区	2	194	0.87±.26			TTJ7	7.44±2.73	-74.9	-9.15
	3	2026	1.16±.26			TTJ3	11.7±3.11	-7.32	-9.31

(4)含水层地层结构对地下水运移的影响

深层水氡值等值线的分布高含量区的走向趋势，与深层水含水层富水性的分布趋势接近，从而同位素场反映出补给条件与水动力场和含水系统结构的规律是一致的，特别是在山前平原、西北部永定河平原、东北部蓟运河、还乡河古河道带等表现为氡值高含量区，说明含水层地层结构对地下水补给起着重要作用，即宁河、汉沽的古河道发育地带深层地下水的侧向和垂向补给条件均较好，但应以侧向补给为主；而市区及塘沽南部含水层富水性差，天然条件下地下水径流滞缓，强烈开采条件下水平径流及垂向补给均加大，因而深层水的补给应是二者均存在，但咸水的越流补给量随深层淡水开采量的增加而加大，同时也造成这些地区的第II含水组中上部地下淡水普遍咸化，这与区域水文地质条件反映的规律是一致的。

4.2 咸水下移的溶质运移模拟

根据咸水下移的溶质运移原理⁽²⁾，对天津市市区的125039和501051两个典型机井的水质进行了半定量模拟，经过分析，认为咸水下移与深层淡水不是简单的机械混合，而是发生了复杂的水文地球化学作用，即白云石和石膏的溶解，方解石和钙蒙脱石的沉淀以及 Mg^{2+}/Na^{+} 阳离子交换。据 Cl^{-} 计算的混合比是：125039孔附近的咸水孔120001孔 Cl^{-} 为1001.5mg/l，淡水占32.18%，咸水占67.82%；501051孔周围的咸水孔 Cl^{-} 为2500mg/l，淡水占82.4%，咸水占17.6%。分析认为，采取水样的化学组分含量代表取水段内各层水的混合情况，即在滤水管下部应该是尚未受到咸水影响的原淡水，上部中的原淡水则可能被咸水代替。据此，再假设抽水时，滤水管内的水由含水层进入井管的水流量上下一致，即可根据抽出水样的咸淡水混合比例，确定取水时咸水下界面的位置。前面已计算出125039孔所取水样(1999年)咸水占67.82%，可以认为，在取水段内咸水所占厚度应为取水段总长度的67.82%，

即 $67.82\% * (106-78) = 18.99\text{m}$ ，说明了中国大戏院 1999 年咸水底界深度已经达到 $78+18.99=96.99\text{m}$ ，而该处 1965 年咸水底界深度为 75m，即在过去的 34 年中，咸水界面下移了 21.99m，运移速率为 0.65m/a。同样计算出的染化二厂 501051 孔 1996 年咸水底界深度已经达到 $119.08+1.69=120.77\text{m}$ ，而该处 1968 年咸水底界深度为 100m，即在过去的 28 年中，咸水界面下移了 20.77m，运移速率为 0.74m/a。

5、结论

咸水下移已经导致了天津市中南部平原第 II 含水组淡水水质的恶化，但第 III 含水组水质尚未发生明显变化，多年保持相对稳定状态，说明咸水下移尚未影响到第 III 含水组，但只要深层水和浅层水之间巨大的水位差继续存在，那么咸水必将继续下移，最终会影响到第 III 含水组地下水。

天津市的咸水下移、入侵问题未开展专门的工作，本次仅根据目前掌握的资料进行了初步的分析探讨，而咸水下移和咸水入侵又是一个整个华北平原区普遍存在的环境地质问题，而且又涉及到深层水的循环运移机制等一些重大的水文地质理论的突破，因此针对此问题还有赖于在后续工作中深化研究。

主要参考文献

1. 王兰化、张士金等 环渤海地区（天津部分）地下水资源与环境地质调查评价报告 2003 年 12 月
2. 张宗祜等 华北平原地下水环境演化 地质出版社 2000 年 2 月
3. 天津市地质环境监测总站 天津市环境地质图系和环境地质图集 2002 年 12 月
4. 天津市地调队 天津市 1: 10 万水文地质普查报告 1984 年 6 月
5. 天津市地质环境监测总站 天津市地下水水质调查评价及与地表水污染关系的分析研究报告 1993 年 4 月
6. 天津市地调队 天津市地下水水质评价及保护研究报告 1986 年 12 月
7. 天津市地调队 天津市区地下水水质监测及变化趋势报告(1979-1982) 1984 年 3 月
8. 天津市地调队 天津市区地下水污染调查报告 1980 年 12 月
9. 天津市地调队 天津市郊区地下水水质年鉴(1966-1980 年) 1982 年 8 月
10. 天津市地调队 天津市汉沽区地下水水质评价及 H₂S 污染调研报告 1990 年 3 月

Deep Fresh Water Turning to Salty in the Plain Area of Tianjin — the Problem Discussion of Downward Movement of Saline Water

WANG lan-hua

(Tianjin Institute of geological survey and research, Tianjin 300191)

Abstract: This text discusses that deep fresh water is turned to salty — the problem of downward movement of saline water in the plain area of Tianjin, in the light of the evolution characteristics of the hydrodynamic field and hydrochemical field, the study of the environmental isotope of the

groundwater ,and the study of water-bearing structure .thinking the deep fresh water in the south plain area of Tianjin , particularly in the Groundwater of aquifer II ,had already suffer to downward movement of saline water, groundwater environment is continuously worsen..

Key words: dynamic field of Groundwater; chemistry field of Groundwater;downward movement of saline water; solute migration;Isotope analysis.