

# 天津市平原区深层淡水咸化 - 咸水下移问题的讨论

王兰化

(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

**摘要:** 深层孔隙水的咸水下移是滨海地区普遍存在的环境地质问题, 目前对其形成和循环运移机理争议较大, 是当今水文地质理论研究的重要内容之一。作者通过地下水资源的系统调查研究, 利用地下水同位素的采样测试成果并结合地下水含水层结构初步分析了深层水的补给运移, 并根据地下水的历年开采量的调查和水位、水质的动态变化研究了地下水动力场、化学场的演化特征。作者认为, 深层水氟含量较 80 年代含量高, 绝大部分含量在 4 ~ 10 TU。在补给条件好的古河道上游地区, 多在 10 ~ 20 TU。这表明深层地下水经过几十年的大规模开采, 水动力条件改变, 水平径流和垂向越流均有所增强, 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。由于几十年深层地下水的超量开采, 天津市南部平原区已形成地下水位的常年漏斗区。由于浅、深层地下水巨大的水位差, 深层淡水已受到上部咸水下移的影响。地下水的主要常量组分 TDS、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  在南部平原区表现为含量总体升高的趋势, 在地下水的集中开采区表现的更为突出, 已经导致了天津市中南部平原第 含水组淡水水质的咸化, 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

中图分类号: 641.74

文献标识码: A

文章编号: 1007 - 6956(2004)03 - 0169 - 08

## 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。

第四系孔隙水分布广, 厚度大, 在水平和垂向上岩相变化复杂。在综合前人研究成果的基础上, 以地质分层为基础, 依据埋藏条件、水质等水文地质特征以及开发利用状况等, 将第四系孔隙水划分为四个含水组, 三个含水亚组: 第 含水组相当于全新统和上更新统( ,  $Q_{h+p3}$ ), 底界深度一般在 70 m 以上, 包括浅层全淡水(位于全淡水区)和浅层淡水(位于有咸水区)两个含水亚组; 咸水亚组介于第 、 含水组之间, 浅部属浅层水, 深部具深层水特征; 第 含水组相当于中更新统( ,  $Q_{p2}$ ), 底界深度在 180 ~ 220 m; 第 含水组大致相当于下更新统上段( ,  $Q_{p1}^2$ ), 底界深度 290 ~ 310 m; 第 含水组相当于下更新统下段, 在隆起区尚包括

部分新近系含水层( ,  $Q_1 p_1 + N_2$ ), 底界深度 370 ~ 430 m。

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, 从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, 咸水底界埋深逐渐变深。从北部小于 40 m 变为 160 ~ 200 m, 至大港一带第 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。

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

收稿日期: 2004 - 07 - 10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(200112400003)

作者简介: 王兰化(1963 - ), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质调查与研究。

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  $> 3 \text{ g/L}$  的咸水占 49%,主要由多次海侵及大陆盐渍化作用形成。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,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

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,但仍基本保持天然流场状态。

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  $3 \sim 5 \text{ m}$ ,地下水总体流向自北向南及北西向南东,最终向渤海湾排泄。

深层水现代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向南,南部由于开采影响,流场变化复杂。

在宝坻断裂以北地区,年度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,深层地下水各含水组水位总体呈持续下降趋势,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  $30 \text{ m}$  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。

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,形成区域地下水降落漏斗,而且也造成了区域地下水流场发生显著变化。尤其是在天津市中东部和滨海平原区,深层地下水流向已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汇流,因而地下水流向复杂多变。同时,地下水位逐年下降,由开采初期滨海地带下水位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 浅层孔隙水的水化学场

浅层孔隙水因受地貌和循环条件的影响,呈现出自北而南和自北西向南东的水平水化学分带现象,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  $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Mg}$   $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Na}$   $\text{HCO}_3^- \text{Cl}^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$   $\text{Cl}^- \text{HCO}_3^- \text{Na}$   $\text{Cl}^- \text{SO}_4^- \text{Na}$   $\text{Cl}^- \text{Na}$  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  $1 \text{ g/L}$ ;  $\text{HCO}_3^- \text{Cl}^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$  和  $\text{Cl}^- \text{HCO}_3^- \text{Na}$  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  $1 \sim 2 \text{ g/L}$  或  $2 \sim 3 \text{ g/L}$ ;  $\text{Cl}^- \text{SO}_4^- \text{Na}$  和  $\text{Cl}^- \text{Na}$  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  $3 \sim 30 \text{ g/L}$ 。

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:波动性上升型;基本稳定型,主要位于咸水层中部的高矿化咸水和全淡水区的山前地带;波动性下降型,主要位于天

津市市区。另外,浅层地下水中硝酸盐、 $\text{NH}_4^+$ 、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,在农业区范围内也与引污水灌溉引起的污水下渗有关。

### 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  $< 2 \text{ g/L}$  的淡水,矿化度多在  $0.5 \sim 1.5 \text{ g/L}$ 。

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  $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3^- \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3^- \text{Cl} \cdot \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3^- \text{Na}$ 、 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^- \text{Na}$  型,矿化度由北部  $< 0.5 \text{ g/L}$ ,向南增高至近  $2 \text{ g/L}$ 。 $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  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  $0.5 \text{ g/L}$ ; $\text{HCO}_3^- \text{Na}$  水主要分布于天津市中部平原区,分布面积较大, $\text{SO}_4^{2-}$  含量较低,矿化度  $0.5 \sim 1.0 \text{ g/L}$ ,为迳流带的水化学类型; $\text{HCO}_3^- \text{Cl} \cdot \text{Na}$  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  $0.8 \sim 1.2 \text{ g/L}$ ; $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3^- \text{Na}$  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  $1 \sim 2 \text{ g/L}$ 。

多年来第 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 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、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  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  $1 \text{ g/L}$  分界线及氯离子超标界线总体上北移,地下水矿化度  $> 1 \text{ g/L}$  的分布面积扩展了  $388.81 \text{ km}^2$ ,氯离子超标面积增加了  $867.52 \text{ km}^2$ 。

历年水质分析成果表明第 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

开采条件下,深层淡水的咸化问题一直受到人们的关注,明木和<sup>[1]</sup>等人通过衡水市 3 000 余个测井曲线的统计分析,得出剖面上的咸、淡水界面多年平均下移速率为  $0.12 \text{ m/a}$ ;1990 年河北省第三水文地质大队与中国地质大学(武汉)地下水系统研究组合作,根据 Toth 和 Engelen 等人发展的地下水流动系统理论,通过计算机模拟计算得出衡水市咸水底界最大下移速率为  $0.13 \text{ m/a}$ ,平均值为  $0.09 \text{ m/a}$ 。笔者根据多年来掌握的资料,从以下几个方面对天津市南部平原区深层淡水的咸化问题进行初步探讨。

### 4.1 开采条件下咸水下移特征分析

#### 4.1.1 地下水水质的变化

(1) 市区浅层咸水淡化是深层淡水咸化的间接标志

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  $10 \text{ m}$  以上的潜水多为  $\text{TDS} < 2 \text{ g/L}$  的淡水;而埋藏深度在  $10 \sim 60 \text{ m}$  的地下水则为咸水(市区南部底界超过  $120 \text{ m}$ ),TDS 为  $2 \sim 14 \text{ g/L}$ 。在 20 世纪 90 年代以前,市区浅层地下水多分散开采,用于工厂冷却循环水。

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  $30 \text{ m}$  左右的咸水观测孔,各离子含量基本稳定。

天津市浅层咸水淡化的主要原因:一是因不断接受河水侧渗和环境用水下渗补给淡化所

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.

天津市地调队.天津市郊区地下水水质年鉴(1966~1980),1982.

天津市地调队.天津市市区地下水水质监测及变化趋势报告(1979~1982),1984.

致;二是排水管道的跑、冒、滴、漏的影响;三是地面沉降造成地势低洼,雨后积水下渗。此外,80年代中后期近郊区大量蔬菜种植基地和养鱼池的建设对浅层地下水也有淡化作用。郭永海、沈照理等<sup>[2]</sup>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,势必引起中部和浅部咸水水质的相应变化,笔者认为天津市浅层咸水淡化与上述影响也不无关系。

### (2) 中南部平原区深层淡水咸化的特征

从表 1 中一些典型机井资料,说明咸水下移

在南部平原区第 含水组上部含水层中是个普遍存在的区域问题,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层结构特征有关,钻孔滤水管距离咸水底界越近,地下水咸化越严重。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深层咸水的入侵。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 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、以及塘沽区。

表 1 天津市中南部平原区第 含水组地下水 TDS 变化对照表(mg/L)

Table 1 TDS variety of the groundwater of aquifer in the mid-southern plain area of Tianjin (mg/L)

孔号	位置	咸水底界埋深/m	取水段/m	TDS(起始年)	TDS(终止年)
125039	中国大戏院	75	78 ~ 106	757.17(1965)	2 092(1999)
501051	染化二厂	100	119.08 ~ 128.69	1 203.1(1968)	2 329(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	1 837(1988)	2 871.9(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	1 478.3(1982)	1 715.2(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)	1 153.5(1999)
	静海水泥厂	60	103 ~ 138	812.9(1993)	1 154(1996)
	静海安庄子	120	184 ~ 234	972.9(1993)	1 060.6(2001)
	静海李八庄	85	176 ~ 196	791.0(1993)	877.2(2001)
	邓善洁 19 队		组(井深不详)	739.64(1980)	921.4(1987)

### 天津市及近郊区第 含水组水质变化

1985 年以前第 含水组一直是市区和近郊区地下水的主要开采层位,在八十年代前后,该组地下水年开采量为  $4\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$  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 60 m 的水位降落漏斗。自 1985 年以来,为控制地面沉降开始大量压缩第 含水组开采量,目前市区和近郊区该组开采量已下降到  $300 \times 10^4 \text{ m}^3$  左右。

按传统习惯,一般将市区第 含水组划分为上部含水层(埋深 60 ~ 130 m)和中下部含水层(130 ~ 178 m)。自七十年代以来,组地下水的主要常量组分绝大多数呈上升的趋势,水化学统

计资料表明,TDS 含量增高的有 10 孔,占被统计钻孔的 63%。从水质动态来看,可分为三种动态类型:主要常量组分上升型(图 1a)是该层地下水的主要类型,如染化二厂的 501051 井,多年来 TDS、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、总硬度等均呈逐渐增大的特点;

水质基本稳定型(图 1b),主要位于市区的北部地段或中下部含水层;回灌淡化型(图 1c),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。

天津市及近郊区 组上部地下水咸化的原因主要有两个方面: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,由于咸水和第Ⅱ组地下水巨大的水位差,使咸水越流进入第Ⅱ组含水组,造成第Ⅱ组地下水咸化,市区南部、东南部和近郊区第Ⅱ组上部含水层地下水均表现出此类现象。成井工艺不良和混合开采造成的咸化,主要是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,在早期开凿的机井中这种现象更为突出,其污染特点为在短时间内水质迅速恶化, TDS 超过 2 g/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,如当时第Ⅱ组报废井 271 眼,约占该组总井数的一半,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,一些第Ⅱ组混合开采井也是上部咸水向下转移的途径,使第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组含水组中下部含水层地下水水质多年变化,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第Ⅱ组下部地下水的影响较小。TDS 表现稳定的孔有 11 个,占统计钻孔的 50%,而其它钻孔中 TDS 大部分表现为波动性变化,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。

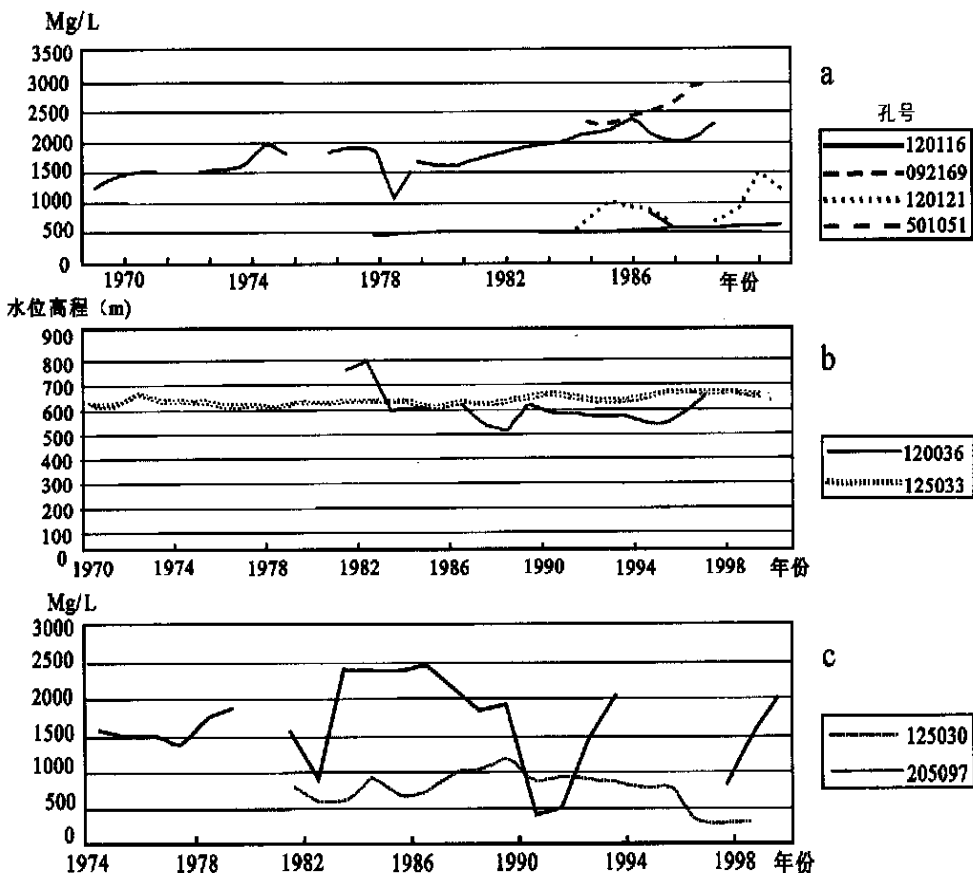


图 1 天津市区第Ⅱ组上部地下水 TDS 历年变化的三种动态曲线类型 (a - TDS 上升型, b - 基本稳定型, c - 回灌淡化型)

Fig. 1 Three types of the underground water TDS change in the upper Formation in Tianjin City (a - TDS rise; b - nearly stable; c - recharged tuning to fresh)

### 4.1.2 开采条件下咸水与下伏淡水的水位动态关系

图 2a 是天津市第 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 2b 显示埋深 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。

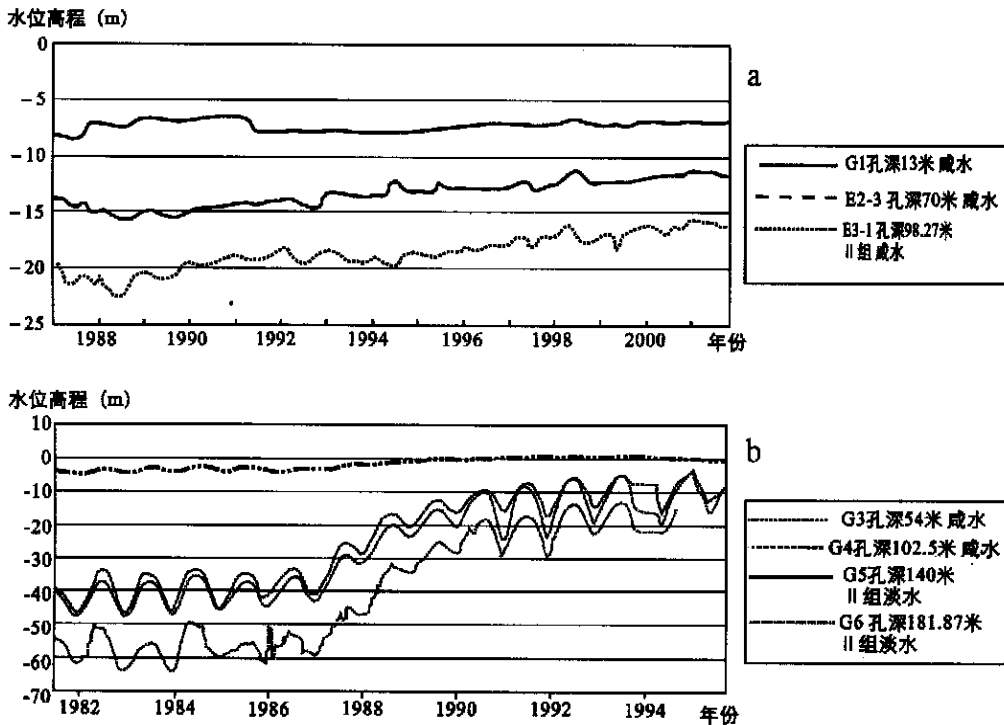


图 2 天津市地下水开采时咸水与下伏淡水的水位动态曲线 (a-军粮城, b-大直沽)

Fig. 2 Change of the fresh and salty groundwater under the exploitation in Tianjin City (a - from Junliangcheng; b - from Dazhigu)

### 4.1.3 地下水同位素的分析

近期同位素测试资料显示,深层水 D、<sup>18</sup>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<sup>14</sup>C 年龄为 10 ~ 20 ka 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 、 、 含水组),自上而下 D、<sup>18</sup>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 D、<sup>18</sup>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。氡含量以浅层水的较高,相对而言,深层淡水含水组中,以第 含水组氡含量较高,补给条件较好。总的看来,深层水除个别含量小于 1 TU,显示古水特征外,绝大部分含量在 4 ~ 10 TU。在补给条件好的古河道上游地区,多在 10 ~ 20 TU,表明以近代新水补给为主。对比 20 世纪 80 年代初取样测试资料(表 2),深层水氡含量较 80 年代的含量高,表明深层地下水经过几十年的大规模开采,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<sup>[3]</sup>。

### 4.1.4 含水层结构对地下水运移的影响

深层水氡值等值线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,表明同位素场反映出的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、西北部的永定河平原、东北部的蓟运河、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。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;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。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 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<sup>[2]</sup>,对天津

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 Characteristics of the groundwater isotope components at different period in the southern 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)	D (‰)	<sup>18</sup> O (‰)	孔号	T (TU)	D (‰)	<sup>18</sup> O (‰)
汉沽大神堂	2	普19	0.89 ±0.21	-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 ±0.22	-74.64	-9.71	DDL22	13.76 ±2.27	-65.8	-9.37
塘沽	2	H2	1.70 ±0.27			TTG36	9.58 ±2.66	-71.8	-9.84
		H1	2.00 ±0.3			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 ±0.26			TTJ7	7.44 ±2.73	-74.9	-9.15
	3	2026	1.16 ±0.26			TTJ3	11.7 ±3.11	-7.32	-9.31

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1001.5 mg/L,淡水占32.18%,咸水占67.82%;501051孔周围的咸水孔 $Cl^-$ 为2500 mg/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 $67.82\% \times (106 - 78) = 18.99$  m,这说明中国大戏院1999年咸水底界深度已经达到 $78 + 18.99 = 96.99$  m,而该处1965年咸水底界深度仅为75 m,因此在过去的34年中,咸水界面下移了21.99 m,运移速率为0.65 m/a。同理,计算出的染化二厂501051孔1996年咸水底界深度已经达到 $119.08 + 1.69 = 120.77$  m,而该处1968年咸水底界深度为100 m,即在过去的28年中,咸水界面下移了20.77 m,运移速率为0.74 m/a。

## 5 结论

咸水下移已经导致了天津市中南部平原第 含水组淡水水质的恶化。但第 含水组水质尚未发生明显变化,多年仍保持相对稳定状态,表明咸水下移尚未影响到第 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 含水组的地下水。

天津市的咸水下移、入侵问题尚未开展专门的工作,本次仅根据目前掌握的资料进行了初步的分析探讨。咸水下移和咸水入侵是整个华北平原地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理等重大水文地质理论的问题,因此,该项课题有赖于在后续工作中深化研究。

#### 参考文献:

- [1]明木和.衡水深层淡水咸化问题的探讨[J].水文地质工程地质,1986,5.
- [2]张宗祜,等.华北平原地下水环境演化[M].北京:地质出版社,2000.
- [3]天津市地质矿产局编制.天津市地质环境图集[M].北京:地质出版社,2004.

## A Discussion on the Deep Fresh Water Salinization in the Plain Region of Tianjin City

WANG Lan hua

(Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin, 300191)

**Abstract** :Based on the systematic survey of the groundwater resources and its annual pumping capacity, water level, dynamic variety, the study of the isotope and the structure of the water bearing layers, it is discussed in this paper that the deep fresh water is turning into the salty water, because of downward movement of the shallow salty water in the plain area of Tianjin. The author thinks that the T ( $H^3$ ) (about 4 ~ 10 TU, or about 10 ~ 20 TU in the old river beds under the good recharge conditions) is higher than that in 1980s, which means the water hydrodynamic field changed after the big scale pumping during the recent 50 years, and horizontal runoff and vertical down flow all increased, and the recharge comes mainly from the rain water. Because of the over pumping of the deep groundwater, the subsiding center has been formed in the south plain of Tianjin. The difference between the shallow and deep groundwater levels made the upper salty water move downward, and the fresh water below was affected already. The normal contents TDS、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  tend to become higher, especially in the strongly pumping areas. The fresh water in the second water bearing layer in the south and middle of the plain is turning to salinization, and the groundwater environment is deteriorating now.

**Key words** : dynamic field of groundwater; chemical field of groundwater; downward movement of salty water; isotope analysis.