

# 三屯河流域平原区地下水 化学组成特征及变化<sup>\*</sup>

郭占荣

(厦门大学海洋系 福建·厦门 361005)

聂振龙 焦鹏程 董 华

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所 石家庄市 050061)

**提要** 该文依据水文地质条件将三屯河流域平原区划分为单一结构潜水子系统和多层结构潜水—浅层承压水子系统及深层承压水子系统。通过地下水水质简分析数据,分析了各地下水子系统中主要离子, TDS 和水化学类型的特征及其变化,并初步讨论了地下水系统的水循环特点。

**关键词** 水文地球化学 组成 三屯河流域

## HYDROCHEMICAL COMPONENT AND ITS DYNAMIC TRENDS OF GROUNDWATER IN THE PLAIN OF SANTUN RIVER BASIN

Guo Zhanrong

(Xiamen University)

Nie Zhenlong Jiao Pengcheng Dong Hua

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS)

**Abstract** In accordance with hydrogeological condition, three groundwater systems are presented in the paper: they are the phreatic water systems with single-layer structure, phreatic water together with shallow confined groundwater system and deep confined groundwater with multi-layer structures in the plain of Santun river basin. The component and distribution of the major ions, TDS and hydrochemical types and their variations of the above-mentioned groundwater systems are analyzed, meanwhile, the circulatory characteristics of groundwater system are discussed preliminarily.

**Keywords** hydrochemistry; component; Santun river basin

### 1 前言

三屯河流域发源于北天山,流经天山北麓平原,最终消失于我国第二大沙漠古尔班通古特沙漠。该流域水文地质条件具有典型的西北内陆河特征,即山前是冲洪积扇,有厚厚的单一结构潜水含水层,洪积扇扇缘下游是冲积湖积细土平原区,有多层结构的潜水—承压水含水层。本文根据该区具体水文地质条件,将三屯河流域平原地下水系统划分

为山前单一结构潜 waters 亚系统和细土平原区多层结构潜水—承压水亚系统,又根据细土平原区在 100 ~ 120m 深度普遍存在一个 6 ~ 22m 厚的弱透水层的情况,将多层结构潜水—承压水亚系统进一步划分为上部潜水—浅层承压水子系统和下部深层承压水子系统。

我们于 1999 年 7 月在三屯河流域平原区共采集地下水水化学样 49 组,其中采集单一结构潜水 21 组,潜水—浅层承压水 14 组,深层承压水 14 组,在室内进行了六大离子 ( $K^+ + Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ ) 和 TDS 项目的测试。同时利用了新疆昌吉

第一作者简介:郭占荣,男,36岁,研究员、博士,从事地下水资源评价和海陆相互作用研究。

<sup>\*</sup>“九五”国家重点科技攻关项目(96-912-01-03S)。

地下水环境地质监测站监测数据 9 组, 现将主要研究结果分述如下。

## 2 单一结构潜水水化学组成及变化

单一结构潜水含水层分布范围就是洪积扇分布范围, 山前潜水埋深超过 200m, 原溢出带(目前已无泉水溢出)潜水埋深一般 1~3m。洪积扇顶部含水层的颗粒大, 导水性非常好, 水力坡度也比较大, 水循环速度较快, 而且有地表水的较充分补给, 易溶盐容易被带到下游, 故表现在水化学类型上主要以  $\text{HCO}_3-\text{Ca}^\circ\text{Na}$  型为主,  $\text{HCO}_3^\circ\text{SO}_4-\text{Ca}^\circ\text{Na}$  型次之, 且 TDS 值较小。例如, 43, 50, 103 号点均位于洪积扇的顶部, 它们中 TDS 最大者为 0.21g/L, 最小者为 0.16g/L。

三屯河河岸附近, 含水层颗粒相对较粗, 渗透性好, 加之雨季有洪水的入渗补给, 所以河道附近的潜水 TDS 较小, 水化学类型属  $\text{HCO}_3^\circ\text{SO}_4-\text{Na}^\circ\text{Ca}$  型, 如 41 和 K1 点的潜水 TDS 都小于 0.2g/L。

在三屯河洪积扇与石河子洪积扇的扇间洼地, 由于含水层颗粒变细, 渗透性较差, 径流速度缓慢, 而且可能是局部水流的汇区, 潜水 TDS 普遍较高。如 52 号点就地处扇间洼地, 其 TDS 达到 1.15g/L, 水化学类型属  $\text{SO}_4-\text{Ca}$  型。

从洪积扇不同部位的地下水水化学成分及其动态分析看, 自洪积扇顶至洪积扇缘存在一定规律性。根据昌吉环境地质监测站 1987~1999 年的动态监测数据, 洪积扇顶(103 号点)的地下水 TDS 在 0.16~0.21g/L 之间波动变化, 平均值 0.18g/L, TDS 有逐年升高的趋势, 年平均升幅为 4.7mg/L。而接近洪积扇扇缘, 不仅 TDS 较高, 而且 TDS 的年均升幅也较大。例如, K1 点位于洪积扇扇缘, 但其靠近洪积扇轴部位置, TDS 在 0.15~0.25g/L 之间波动, 平均值 0.19g/L, 呈现逐年升高趋势, 年平均升幅 5.1mg/L; SK7 点也位

于洪积扇扇缘, 但其靠近扇缘西侧, 远离轴部, TDS 在 0.30~0.38g/L 之间变化, 平均值 0.34g/L, 高于 103 号点和 K1 点, TDS 也呈现逐年升高趋势, 年平均升幅高达 10.0mg/L。可见, 洪积扇扇顶和轴部相对于扇缘来说, 从扇顶向扇缘方向, TDS 升高, 而且越靠近扇边缘, TDS 的年平均升幅越大。TDS 的这一平面分布规律反映出洪积扇接受河水(包括引河灌溉水)补给量的大小及补给的快慢程度。扇轴部紧邻三屯河河道, 能受到河水的渗漏补给, 加上该区灌渠密布, 引河灌溉水的渗漏量也较大, 故 TDS 较低; 而洪积扇边缘部位远离河道, 且灌渠密度相对较小, 使扇缘部位潜水得到河水的补给量小, 水循环交替速度缓慢, TDS 就高。

如果从扇顶到扇缘沿地下水径流方向, 即 103 号点→51 号点→SK2 号点→344 号点, 就会发现地下水 TDS 呈逐渐升高趋势, 即 0.20g/L→0.28g/L→0.33g/L→0.34g/L, 反映出溶滤作用对水化学成分的影响。

按照上述分析, 整个洪积扇的 TDS 均有逐年升高的趋势, 笔者认为这与近几十年来人类活动影响有关。因西北地区蒸发量很大, 作物蒸发蒸腾的同时将盐分留在了地表, 而不断积累的盐分又随灌溉水入渗补给地下水, 故导致地下水 TDS 逐年升高, 这是应该引起重视的一个农业生态环境问题。

## 3 多层结构潜水—浅层承压水水化学组成及变化

### 3.1 表层潜水的咸化趋势

溢出带以上的洪积扇分布区, 地下水循环以水平径流为主, 蒸发浓缩作用相对较弱, 而细土平原区与之形成鲜明对比。

细土平原区上游靠近原溢出带的部位, 该区水位埋深较浅, 普遍在 1.5~3.0m 左右, 含水层颗粒较细, 弱透水层增多, 潜水水平径流相对较慢, 潜水水循环变成以垂向交替为

主。在强烈蒸发作用下,潜水能不断补充土壤水的蒸发损耗,盐分就在土壤表层积累而增加,田间灌溉时将土壤表层的盐分淋溶到潜水中,使得潜水的TDS升高,这种蒸发—淋溶作用交替进行,造成潜水的TDS逐渐升高,引起潜水向咸化方向发展。

我们用洛阳铲打孔取得4组潜水样(编号19,20,11,4),测试结果显示TDS分别为2.60g/L、4.31g/L、1.31g/L和2.61g/L,水化学类型分别为 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}$ 型、 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl} - \text{Na}$ 型、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}$ 型和 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl} - \text{Na}$ 型,可见蒸发浓缩作用对表层水咸化的影响十分显著。

潜水与下伏浅层承压水存在密切水力联系,天然条件下本身有自然“天窗”相联系,在人工开采地下水活动中,一些人工“天窗”进一步加强了二者的联系。这样在开采浅层承压水时,当浅层承压水的水头低于上覆潜水水位时,TDS较高的潜水就会入侵下伏浅层承压淡水,可见潜水的咸化对下伏浅层承压水构成严重威胁。

我们在样品采集中就遇到咸化潜水对浅层承压淡水的入侵情况,甚至发现咸化潜水通过人工“天窗”污染深层承压水的情况。6号样点位于共青团农场团部,井深100m左右(访问),由于成井时潜水与浅层承压水之间止水不好,咸化潜水进入到浅层承压淡水中,水样的TDS达到1.03g/L,水化学类型为 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型,口感非常苦涩,pH值为7.75;48号样位于佃坝乡高丰三队,井深200m左右(访问),打井时的意图是想开采深层承压淡水作为饮用水,但是由于成井时止水不好,咸化潜水和浅层承压水混入到深层承压淡水中,开始抽出的水呈灰色,口感非常苦涩,pH值7.3,经过较长时间抽水后仍呈灰色,pH值8.06,测得水样的TDS并不算高(0.42g/L),水化学类型属于 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Na}$ 型。

虽然对原溢出带下游的细土平原区的潜

水调查和测试十分有限,但初步成果显示,细土平原区潜水,甚至部分受污染的微承压水基本属于微咸水或半咸水,TDS多在1~2g/L以上,水化学类型多为 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Na}$ 型或 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl} - \text{Na}$ 型,已失去其可利用价值。

### 3.2 浅层承压水化学组成及动态变化

浅层承压水TDS分布范围为0.21~1.03g/L,但绝大多数样品的TDS在0.3~0.55g/L范围内,水化学类型多数属于 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型和 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型。

浅层承压水水化学组成呈现出季节波动,但TDS的动态变化未显示出逐年增高的态势,即水化学成分多年保持动态平衡。例如,SK16点,井深114.3m,开采浅层承压水,其地下水TDS在0.3~0.39g/L之间波动,多年平均值0.31g/L(1990~1999年),TDS随季节虽有波动,但看不出有升高的趋势,水化学类型属于 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型或 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 型。与洪积扇区的潜水比较,浅层承压水化学成分动态相对比较稳定。

浅层承压水既与上覆潜水有密切水力联系,又接受洪积扇潜水的侧向径流补给,故上覆潜水、上游潜水水化学组成及补给量直接影响着浅层承压水的水化学特征。正如上面提到的6号点和48号点情况,浅层承压水易受到咸化潜水的污染。

### 4 深层承压水水化学特征及演化规律

深层承压水TDS介于0.15~0.26g/L,TDS相差较小,总体上较上覆浅层承压水的TDS低,也较洪积扇单一结构浅部潜水的TDS低。深层承压水的水化学类型以 $\text{HCO}_3^- - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型和 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型为主。

从深层承压水的离子含量、TDS及水化学类型方面与浅层承压水比较分析,一定程

度上说明深层承压水与浅层承压水在水力联系上较弱,尤其是深层承压水TDS明显低于浅层承压水。而进一步从水动力条件分析,浅层承压水的水头总体上低于深层承压水的水头,说明深层承压水存在向上越流补给浅层承压水的可能性。地下水数值模拟(另有文章)也证明在目前开采状况下深层承压水向上越流补给浅层承压水。

从洪积扇部位的潜水TDS与深层承压水TDS比较分析,洪积扇潜水浅部的TDS总体上明显高于深层承压水的TDS,因而可以推测深层承压水的补给主要是山前深部的侧向补给,而且这种补给速度也较为缓慢,同位素测年显示,深层承压水的年龄在5370~18640年左右,平均实际流速 $5.7\text{m/a}$ 。

深层承压水化学组分体现出一定的水化学演化规律。大致沿地下径流方向,即CSK1号→9号→61号→S6号→5号→S10号方向,阳离子 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 毫克当量百分数呈现较强增加趋势,从27.4%增加到72.9%; $\text{Ca}^{2+}$ 呈逐渐减少趋势,由57.8%减少到21.2%; $\text{Mg}^{2+}$ 也呈逐渐减少趋势,由14.6%减少至5.8%。阴离子 $\text{HCO}_3^-$ 呈逐渐减少趋势,从73.5%减少到48.1%, $\text{SO}_4^{2-}$ 呈缓慢增加,从19.3%增至30.2%; $\text{Cl}^-$ 总的趋势在增加,增加较缓慢,从6.7%增至13.3%。沿径流方向,阳离子 $\text{Ca}^{2+}$ 的优势地位被 $\text{Na}^+$ 所取代, $\text{Na}^+$ 成为主要阳离子,阴离子始终以 $\text{HCO}_3^-$ 为主,但存在被 $\text{SO}_4^{2-}$ 超过的趋势(图1)。沿径流方向地下水TDS也呈缓慢增高,由 $0.15\text{g/L}$ 增至 $0.17\text{g/L}$ ,水化学类型由 $\text{HCO}_3-\text{Ca}^+\text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3^-\text{SO}_4-\text{Na}^+\text{Ca}$ 水,演化成 $\text{HCO}_3^-\text{SO}_4-\text{Na}$ 水。深层承压水水化学组分的这种演化规律,反映了溶滤作用、阳离子交替吸附作用对深层承压水演化的影响。

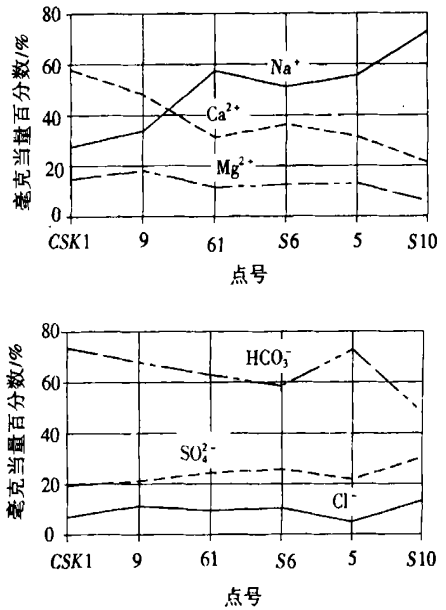


图1 深层承压水水化学成分演化过程

## 5 山前隐伏断层是否导水的初步讨论

西北地区山前与平原结合部位地下水存在侧向补给是比较公认的看法,但是侧向补给量的大小却众说纷纭,其中山前隐伏断裂是否导水是考虑补给量大小的一个关键因素。

根据以往物探研究成果推测山前存在三条隐伏断层\*,其中一条基本与河流平行一致,另两条分别分布在河流两侧。43号点位于西侧隐伏断裂附近,井深320m,潜水位埋深270m。从该处地形地貌补给条件分析,三屯河河水对其侧向补给的可能性很小,另外该部位农田也很少,田间灌溉入渗补给对其也是微乎其微,推测其主要补给可能是山前侧向径流补给。该点地下水TDS很低,仅 $0.16\text{g/L}$ ,其距离河岸较103号点( $0.20\text{g/L}$ )、41号点( $0.20\text{g/L}$ )、51号点( $0.28\text{g/L}$ )、SK2号点( $0.33\text{g/L}$ )远的多,但其TDS却小于这些点,进一步说明三屯河河水对其侧向补给很小或没有。另据环境同位素分析,43号点的

\*新疆维吾尔自治区昌吉市供水水文地质综合勘察报告,新疆地矿局第二水文地质工程地质大队,1987

同位素组成较轻( $\delta^{18}\text{O} = -10.58\text{‰}$ )、氦含量( $^3\text{H}$ )较低(6.1~7.0TU),说明该部位地下水没有受到近期大气降水和地表水的补给。由此可以推断该隐伏断层是导水断层,是山区地下水侧向补给平原区的通道。

45号点位于东侧隐伏断层附近,井深326m,潜水位埋深250m。其距头屯河河道不超过2km,从其氦浓度(92.9TU)看,大于现代河水氦含量(24.8~46.0TU),说明该部位仍存在核爆炸时期补给的地下水。另外,其TDS达到0.82g/L,远较其它接受河水补给的水样点高,水化学类型属于 $\text{HCO}_3^- \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型。我们分析形成这种水化学和同位素特征的原因是由于45号点位于山前断层附近,因为该位置断层局部阻水或透水性很差,水岩作用时间长,且地下水径流速度缓慢,处于相对封闭状态,可见东侧隐伏断层是阻水断层或局部阻水。

## 6 结束语

本文利用49组样品和昌吉环境监测站

监测的部分样品,基本上覆盖了三屯河流域平原区从山前到细土平原中上部的地区。通过这些样品的分析基本上可以从宏观上把握该流域平原区地下水化学组分在平面上和垂向上的分布和变化,初步了解各含水系统的水循环特点。

在为研究成果取得初步成果欣喜之余,也不免感到少许遗憾,因为除了极为有限的地质勘探孔可以取得定深的样品外,绝大部分工业用井和农业用井都是混合井,无法取到指定深度、指定含水层的样品,这容易引起对含水系统化学组成认识上的偏差,也不利于分析含水层之间的关系。另外,为了减少开支,目前地下水水质动态监测井数、监测项目和监测频率呈现减少的趋势,这对于从时空上正确认识 and 评价地下水是极为不利的。所以,建议尽快研究野外实用的定深取样技术和装备,同时要把地下水水质监测真正作为一项公益事业来抓,不能随意减少监测井数、监测项目和监测频率。

(收稿日期:2002-01-09)

# 注册土木工程师(岩土)执业资格考试 专业考试科目、分值、时间分配及题型特点

## 1 考试科目

1)岩土工程勘察;2)浅基础;3)深基础;4)地基处理;5)土工建筑物、边坡、基坑与地下工程;6)特殊条件下的岩土工程;7)地震工程;8)工程经济与管理。

以上各科目均为必答题。

## 2 考试时间分配及试题分值

考试分为2天,第一天为概念性考题,总分100分;第二天为案例分析题,总分100分。每天上、下午各3小时,但不确定各科目在上、下午的配题数量。第一天概念题上下午各50题,每题分值为1分,上下午分值合计为100分。第二天案例分析题上下午各25题,每题分值为2分,上下午分值合计为100分。

## 3 题型特点

考题由概念题、综合概念题、简单计算题、连锁计算题及案例分析题组成;连锁题中各小题的计算结果一般不株连。

(本刊讯)