

永定河上游山间盆地地下水质量评价与 水化学特征分析

何铁柱¹, 杨玉春²

(1.北京市地质工程勘察院, 北京 100037; 2.北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘 要: 为准确掌握永定河上游山间盆地地下水质量状况, 并从水化学角度探讨其分布特征。基于研究区的地质和人文地质条件, 将2008年6月采集的65个地下水样分为浅、中、深层。按照F值评分法进行了分层综合质量评价。并采用数理统计方法, 分别计算了上游、中游和下游每一个含水层特征指标算数平均值和方差。开展了TDS、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和硬度与取样深度的相关性分析。结果表明, 延庆盆地内水样基本均属于偏碱性水, 垂向上, 延庆盆地地下水由浅到深, 地下水水质逐渐变好, 且随着深度增大, 水样的pH值有增大趋势。横向上, 上游地下水水质好于中游, 中游好于下游; 深层地下水已经出现较差和极差点。在上游地区基本以 HCO_3^- -Ca·Mg为主, 水质趋同性好, 分层特征较弱; 在中游地区, 大部分中层地下水中的 Na^+ 浓度升高, 开始出现 HCO_3^- -Ca·Na·Mg型, 水质分层特征明显。到了下游地区, Na^+ 和 Mg^{2+} 浓度快速升高, 许多水样表现为 HCO_3^- -Na·Mg·Ca型和 HCO_3^- · SO_4^{2-} -Na·Ca·Mg型。越往下游, 地下水的化学组分更趋于复杂, 一方面表征了其多源输入的特征, 另一方面反映了人类活动影响强度的增强。

关键词: 地下水质量评价; 地下水水化学; 延庆盆地; F值法

中图分类号: X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-1903 (2014) 01-0038-05

北京市是严重缺水的特大型城市, 目前人均水资源量已经不足 100m^3 , 远低于国际公认的缺水警戒线 1000m^3 。北京2/3以上的供水来自地下水, 近年来人口急剧增加、经济快速发展, 加之连续枯水年份使得地下水开采深度越来越大、开采量居高不下、地下水位降落漏斗进一步扩展, 相继引发了一些地下水环境地质问题。特别是第四系地下水水质恶化直接威胁到地区的供水安全。自2003年以来, 中国地调局、北京市政府等多部门先后在北京平原实施了多个地下水环境调查与评价的项目: 文献^[1-2]的工作精度为1:25万, 文献^[3]的工作精度为1:10万, 由于多种原因, 以上项目都不包含永定河上游山间盆地, 使得这一区域的地下水环境调查与研究基础相对较弱。2007~2009年, 在整个北京市平原区 6900km^2 实施了近20年来最大规模、精度最高(1:5万)的地下水污染调查与评价项目。本文以永定河上游山间盆地作为研究区, 利用数理统计学方法, 分层分区进行了质量评价,

开展了地下水水化学特征分析, 以期准确刻画地下水水化学场, 探讨自然因素和人类活动对地下水水质的影响, 为地区地下水资源的合理开发与保护提供支撑, 为保障安全供水提供依据。

1 自然地理概况

研究区地理坐标为: $115^\circ 44' \sim 116^\circ 34'$, 北纬 $40^\circ 16' \sim 40^\circ 47'$, 位于北京市的西北部, 距城区约70km, 以往称永定河上游山间盆地, 也有学者称延庆盆地^[4], 总面积 1993.75km^2 , 山区面积占72.8%, 平原面积占26.2%。区内多年平均气温 8°C , 多年平均降水量为493mm, 降水量时空分布不均, 6~8月份降水量占全年总降水量的72%, 地域上分布也不均, 东部山区多于西部山区, 山区多于平原区。妫水河是研究区内最大的河流, 流域面积 1064.3km^2 , 自东北流向西南。

2 区域水文地质条件

整个研究区三面环山，是一个出口在西南形似喇叭状的山间盆地（图1）。盆地中部以湖相沉积为主，沉积总厚度主要受构造控制。总体来看，东薄西厚，沉积中心位于延庆镇以西，厚度大于1000m，北部山前比南部山前厚度大，南部一般厚度100m，北部可达200m以上。山前平原冲洪积扇地区，含水层主要有砂、砂砾石、砂卵石组成。含水层厚度由冲洪积扇上部向下逐渐变厚，含水层颗粒由冲洪积扇顶向下由粗变细。山前地区排列有数个小型的冲洪积扇，山前到冲洪积扇底部，颗粒由粗变细，呈有规律的递变。盆地中部主要为淤泥质粘性土夹薄层粉细砂层，粉细砂层多呈透镜体分布^[4]。

区域上地下水流向自西北流向东南。在冲洪积扇中上部地区，单井出水量可达3000m³/d。潜水分布于全区，承压水主要分布于盆地中部，承压水分界线基本沿后黑龙庙-靳家堡-后吕庄-北采-前吕庄-永宁-高庙屯-康庄镇一线为界。该地区埋深30~50m以上含水层由薄层中细砂组成，50~100m以下有2~3层砂砾石层，厚约10m左右，含水层总厚度约20m左右（图1）。

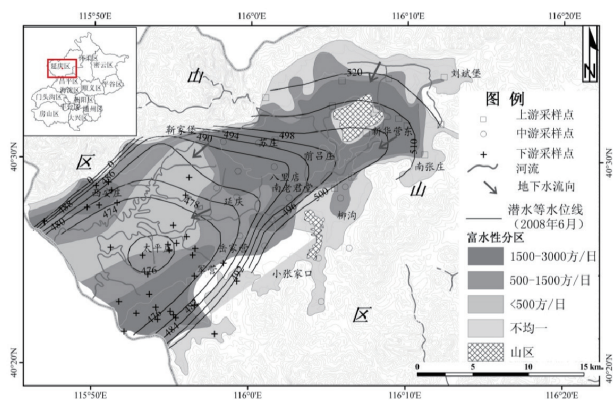


图1 研究区地下水采样点分布图

工作区内地下水的补给、径流和排泄受地形地貌、大气降水、地层岩性及地质构造的影响。补给主要包括大气降水、河水的垂直入渗、侧向径流以及山区基岩水的侧向补给。在砂卵石为主要含水层地区，由于渗透性能好，地下水以接受地下径流和大气降水补给为主；北部山前的郎庄、付余屯和西辛庄一带，主要接受山前泉水溢出补给，

地下水位较浅；奶水河两岸的老白庙、谷家营、西关和莲花池一带则接受河水侧向径流补给。排泄方式包括自然蒸发、泉、地下径流及人工开采^[5]。

3 数据与方法

2008年分丰、枯水期对平原区1035眼水井进行了采样工作，共采集地下水样品3400余组。在延庆盆地共布设采样点65个，其中浅层地下水样21个，主要采自潜水及承压水分布区，含水层底板埋深小于50m的浅层具有微承压性质的含水层组；中层水样32个，主要来自承压水区，含水层组底界深度80~120m，局部地区以基岩作为底界；深层地下水样12个，主要取自承压水区，含水层组底板埋深150~180m，局部地区以基岩作为底界。测试有机组分44项，无机组分49项（本文仅涉及无机组分评价），所有样品在现场测试了pH、溶解氧、电导率，无机组分在北京市地质工程勘察院水质分析实验室测试^[6]。

地下水质量评价的方法通常有内梅罗指数法^[7]、模糊数学法^[8]、集对分析法、聚类分析法等^[9-10]，已有诸多文献，在此不再赘述。本文采用《地下水质量标准》^[11]中应用最最简单F值评分法。本文利用2008年6月枯水期采集的水样分析结果进行计算和评价。

4 地下水质量评价

选择总硬度、溶解性总固体、锰、氨氮、铁、氟、硝酸盐、亚硝酸盐、氯离子、硫酸根离子10项作为评价因子，利用F值评分法进行综合质量评价（表1）。结果表明：永定河上游山间盆地的地下水质量较好，深层水质好于中层，中层好于浅层，这与师永霞等人在华北平原东部衡水地区的研究结果相似^[12]。由冲洪积扇的顶部向中下游，地下水

表1 研究区地下水水质评价结果统计表

分层 (水样 个数)	优良(个) (百分比)	良好(个) (百分比)	较好(个) (百分比)	较差(个) (百分比)	极差(个) (百分比)
浅层 (21)	7 (33.33%)	5 (23.81%)	0 (0%)	1 (4.76%)	8 (38.10%)
中层 (32)	25 (78.13%)	5 (15.63%)	0 (0%)	2 (6.25%)	0 (0%)
深层 (12)	5 (41.67%)	5 (41.67%)	0 (0%)	1 (8.33%)	1 (8.33%)

水质有变差的趋势。特别是在城镇聚集区的四周,地下水质量普遍较差^[13](表1,图2)。

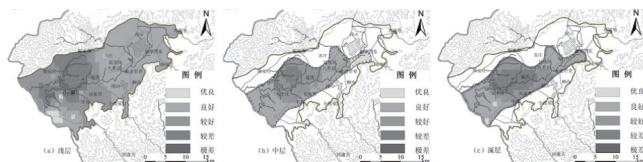


图2 研究区地下水综合质量评价结果

5 地下水水化学分层分带特征

5.1 地下水化学组分的统计特征

从研究区内8种组分的统计结果表明:地下水的 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 离子的浓度均值呈现出上游地区>中游地区>下游地区。 Cl^- 浓度在上游高于中游,下到了下游地区,又再次升高。由于 Cl^- 不为植物及细菌所吸收,不被土粒表面吸附,氯盐溶解度大,不易沉淀析出,它是地下水中最稳定的离子。由于工业、生活污水及粪便中含有大量 Cl^- ,因此,居民点附近矿化度不高的地下水中 Cl^- 含量超过寻常,则说明地下水很有可能已经遭受了不同程度的污染^[14-15]。

组分浓度的均方差统计结果为:浅层和中层地下水的 Cl^- 、 NO_3^- 、硬度和TDS均有上游<中游<下游的特点,说明在盆地的上游和中部地区,地下水水质的趋同性更强。这与地层结构具有较好的吻合性,在上游地区,地层多为单一的砂卵石层结构,垂向的水力联系密切,交换相对容易。下游地区,地层转为多层结构,水质分异现象更为显著。对于深层地下水而言,除硬度与硝酸根外, Cl^- 和TDS也大致呈现出了上述规律。

延庆县城位于延庆盆地的中下游地区,因此下游地区 Cl^- 升高很有可能与城区及周边地下水人为污染有关。

5.2 地下水水化学类型变化

图3为盆地内浅、中、深层地下水水化学Piper三线图。可以看出几乎70%以上的地下水样落在了三线图中的“5”区,即碳酸盐硬度超过了50%。上游地区浅层地下水化学类型多为 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,只有在极个别点存在 HCO_3^- · SO_4 - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 或者 HCO_3^- · NO_3 - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水。这些硫

酸根和硝酸根含量较高的点多位于工业开发区周边,或者是一些农用灌溉的浅井。中游地区仍然以 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型为主,但开始出现 HCO_3^- · Cl^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水。下游地区,浅层地下水中的 Na^+ 、 Cl^- 浓度升高, HCO_3^- · Cl^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 样本数增多,而且许多井点表现为 HCO_3^- · SO_4 - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型。中层地下水在上游基本仍以 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 为主,个别点 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度升高。在中游地区,大部分中层地下水中的 Na^+ 浓度升高,开始出现 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型。到了下游地区, Na^+ 和 Mg^{2+} 浓度快速升高,许多水样表现为 HCO_3^- - $\text{Na}\cdot\text{Mg}\cdot\text{Ca}$ 型和 HCO_3^- · SO_4 - $\text{Na}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型。

深层地下水而言,在上游以 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 为主,中下游逐渐由 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 过渡到 HCO_3^- · SO_4 - $\text{Na}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型。

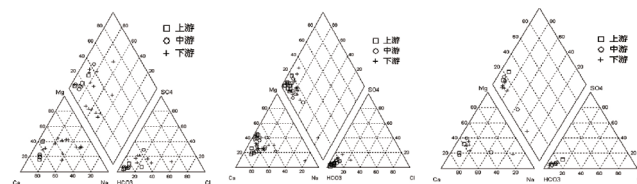


图3 研究区浅层(a)、中层(b)、深层(c)地下水水化学派珀三线图

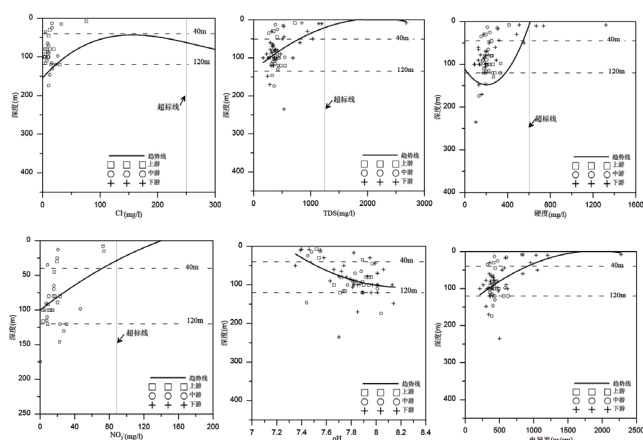


图4 研究区典型离子组分与深度关系曲线图

5.3 水样浓度与采样深度分析

将该研究区地下水系统划分为上、中、下游3个区,并采用二次指数模型对离子浓度和水样深度进行了拟合(图4)。从图中可以看出:①在盆地冲洪积扇的上部、中

部和下游地区,水样的集中度上部好于中部,中部集中度好于下游;②从深度上来看,随着深度的增大,各组分的浓度均有下降的趋势。以硬度和溶解性总固体(TDS)为例,超标的水样点均为深度小于50m左右的浅井。硬度超标点($>500\text{mg/L}$)也均为深度小于50m左右的浅井;③从分带性上来看,高值点和超标点大多属于下游水样(图4)。④pH值统计表明盆地内水样基本均属于偏碱性水,并随着深度增大,pH有增大趋势;⑤水样的EC(电导率)值随着井深的增大呈减小趋势,这一点在上游表现的尤为明显。在冲洪积扇的上游,地下水主要接受大气降水入渗和山区岩溶裂隙水补给,EC值在 450us/cm 左右。到了中游,地下水的EC值升高到 500us/cm ,均方差增大,表明水样的补给来源更趋于复杂,可能既有大气降水,又有地表水网的渗漏补给。到了下游地区,EC均值达到了 780us/cm 。特别是浅层和部分中层水样的EC值最高,这与其遭受人类活动影响矿化度升高具有明显的一致性。从上游到中游再到下游,同样是浅层水样,其EC值逐渐增大^[15]。事实上,地下水的这种分层分带特征也会在水位动态及地下水的年龄上表现出来。许多学者通过水位动态数据^[16]和氢氧同位素^[17~18]分析探讨了北京平原潮白河山前冲洪积扇第四系地下水的这种分布特征。

6 结论

(1)从垂向上看,研究区地下水水质深层好于中层,中层地下水又好于浅层。横向上,冲洪积扇上游总体水质好于中游,中游地下水好于下游。组分浓度和水化学类型表明:上游地区水质的趋同性强,水化学类型比较单一,这与上游地区含水层单一结构,颗粒粗大及良好的水动力条件相一致。中下游地区,地层转为多层结构,补给源也变得复杂,上下含水层联系相对弱,地下水浓度分布范围更广,水化学类型也趋于复杂。

(2)研究区中下游城市聚集区, Cl^- 、 NO_3^- 、硬度和TDS浓度显著升高,高浓度点和超标点多属于中下游的浅层水样,这是人类活动污染物输入强度的表征,特别是在延庆县城及近郊一带,生活污染是引起下游浅层地下水水质恶化的主要因素。

(3)数理统计、综合质量评价和水化学类型判别等方法研究表明研究区地下水具有较好的分层分带特征,

这为科学合理布置地下水源保护和污染防控工作提供了依据。不足的是,本次没有将这种特征与区域内地下水水位动态、环境同位素的研究进行对比,这将是下一步要开展的工作。

(4)地下水水化学场的刻画与研究是地下水系统时空研究中最直接、最为可靠的手段之一,也是关系到供水安全最为关键的工作内容。建议本地区的水资源开发与管理部门要加强污水、垃圾等污染源的监测与控制,研究更为合理开采模式,以持续安全利用本区地下水资源。

参考文献

- [1]林健,王翊虹,陈鸿汉等.北京市平原区地下水环境调查报告[R].北京:北京市水文地质工程地质大队,2006.
- [2]林健,陈忠荣,赵薇等.华北平原区地下水污染调查评价报告(北京部分)[R].北京:北京市地质矿产勘查开发局,2009.
- [3]北京市地质矿产勘查开发局.北京市平原区多参数立体地质调查报告[R].北京:北京市地质矿产勘查开发局,2008:1~610.
- [4]张安京,叶超,李宇等.北京地下水[M].北京:中国大地出版社,2008:52~55.
- [5]谢振华,王翊虹,张少才.首都地区地下水资源和环境调查评价报告[R].北京:北京市地质调查研究院,2003.
- [6]林健,陈忠荣,叶超等.北京市平原区地下水环境监测与初步整治方案成果报告[R].北京市水文地质工程地质大队,2010.
- [7]林良俊,文冬光,孙继朝等.地下水质量标准存在的问题及修订建议[J].水文地质工程地质,2009,36(1):63~64.
- [8]李亚松,张兆吉,费宇红等.地下水质量综合评价方法优选与分析:以滹沱河冲洪积扇为例[J].水文地质工程地质,2011,38(1):5~10.
- [9]焦珣,苏小四,林学钰等.考虑样本差异的一种地下水水质模糊评判方法与应用[J].水文地质工程地质,2010,37(3):5~11.
- [10]刘石.地下水质量评价方法探讨[D].北京:中国地质大学,2006:1~62.
- [11]国家质量监督局. GB/T14848-1993, 地下水质量标准[S].北京:中国标准出版社,1993.

- [12]师永霞,王贵玲,高业新.华北东部平原地下水垂向循环的水化学与同位素标示[J].水文地质工程地质,2010,37(4):18~23.
- [13]辛宝东,郭高轩,陆海燕等.北京市平原区地下水污染调查报告[R].北京:北京市水文地质工程地质大队,2010.
- [14]杨玉春.延庆盆地地下水水化学特征统计分析,城市地质[J],2011,6(4):26~30.
- [15]宋献方,李发东,于静洁等.基于氢氧同位素与水化学的潮

- 白河流域地下水水循环特征,地理研究[J].2007,26(1):11~21.
- [16]刘元章,武强,林沛等.北京市平原区第四系地下水赋存及运移模式的再认识[J].中国科学:地球科学,2013,43(1):108~119.
- [17]刘元章,武强,高志辉等.北京平原区第四系地下水水位变化规律的再认识[J].工程勘察,2013(5):43~47.
- [18]郑跃军,李文鹏,王瑞久等.潮白河冲洪积扇地下水循环演化特征[J].人民长江,2012,43(15):43~46.

Assessment of groundwater quality and its chemical characteristics analysis in Yongding River mountain basin

HE Tiezhu¹, YANG Yuchun²

(1.Beijing institute of geological and prospecting engineering, Beijing 100037;

2.Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195)

Abstract: In order to evaluate the groundwater quality of Yongding River upstream mountain basin and to discuss the characteristics of its distribution by the view of hydrochemistry, a total of 65 groundwater samples, collected within YanQing basin in the dry period of 2008 according to the geological and hydrogeological condition of Yanqing basin, were classify shallow, middle and deep groundwater respectively. Based on the data, the groundwater quality is evaluated by the method of F value. The mean and variance of main chemical constituents of groundwater samples were presented.. Also , the relationship between the depth of the samples and the concentration of TDS, Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , pH, EC, hardness were analysed. The results show that most groundwater belong to Alkaline water. From shallow to middle, and then to deep, the quality of groundwater in Beijing is getting better. In the horizontal, from the fanhead area to middle area and then to the edge of the fan, groundwater become worse. The worst groundwater samples, i.e. V class of groundwater have been appeared in deep groundwater aquifer. At the fanhead area, the consternation of groundwater is low, the Layered characteristics is not very obvious, the watertype is $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ mainly. At the middle area of the basin, the consternation of Na^+ and Cl^- become higher, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ water appear, the difference of different aquifers is becoming obvious. The groundwater at the edge of the fan appeared complex relatively, several samples were $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$ and $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$, this results is identical with the Characteristics of the multi-source input on the other hand, this reflect the influence of human activities intensity enhancement.

Keywords: groundwater quality assessment; Yanqing Basin; statistics; method of F value