

利用稳定同位素方法识别内蒙古余太盆地地下水补给来源

刘君, 王莹, 卫文, 张琳, 刘福亮

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

摘要:为研究近几十年来余太盆地地下水补给变化情况,通过现场调查分析,对余太盆地浅层地下水开展同位素样品采集工作,并测定了其氢、氧稳定同位素的值。在分析同位素分布特征及变化规律的基础上,结合当地地质及水文地质条件识别了地下水补给来源和补给区并构建了浅层地下水的补给模式图,探讨了区域上浅层地下水的补给流动状况。通过分析研究区大气降水和地下水中的氢氧稳定同位素的变化特征发现:当地大气降水并不是地下水的主要补给来源,其补给源区为周边山区,补给来源主要是周边山区的大气降水,且地下水所经历的蒸发作用较明显;盆地的东、西部地下水的补给源区不尽相同,西部的补给区高程要高于东部的补给区高程,但两部分地下水所经历的蒸发强度基本相同。

关键词:地下水;稳定同位素;补给来源;干旱半干旱区

中图分类号:P597

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)01-0051-05

1 引言

地下水补给来源及补给过程的研究一直是地下水资源研究的重点和难点问题,尤其是在以地下水作为主要供水水源的干旱半干旱地区。近几十年来受到气候变化和人类活动的双重影响,我国北方干旱区大部分地区的区域水文地质条件已发生改变,多数地区地下水超采严重,地下水资源补给与开采之间的平衡被破坏,地下水补给环境发生变化,因此,迫切的需要查明变化环境下地下水补给状况,为地下水资源的可持续管理提供依据。

由于在不同的地貌单元或不同地区,地下水的补给方式不尽相同,而地下水补给量又常随着时间和空间的变化而发生变化,这使得地下水补给信息的评价较为困难,特别是在使用传统水文地质调查方法分析时常常遇到许多困难,而氢氧稳定同位素(D和¹⁸O)作为水分子的一部分,直接参与水循环,可以为详细了解各地区地下水的补给来源提供重要信息。该方法通常用来定性的研究地下水补给,主要是通过对比地下水和大气降水的同位素组成来分析地下水的来源和地下水的补给机理^[1],在国内外的地下水补给研究中得到

了广泛的应用^[2-16],并取得了较好的效果,被认为是干旱区地下水补给评价的有效方法。

位于内蒙古河套平原的余太盆地是内蒙西部重要的商品粮和矿产基地,具有重要的经济和社会地位。余太盆地处于干旱半干旱地区,地下水作为该区的主要供水水源,开发利用程度较高。据以往资料显示,该区主要开发利用的是浅层地下水,是该区经济发展的重要支撑。但是由于长期的开采,在过去的40年间浅层地下水水位大幅度下降,下降的幅度为10~25m不等,地下水平衡状态已破坏,地下水循环条件已发生改变,普遍存在着开采不合理,局部地区超采严重且已出现降落漏斗等问题^[17],水资源供需矛盾日益紧张。因此,在现状条件下,如何缓解水资源短缺问题,实现地下水资源的可持续利用乃是当务之急。而地下水补给来源和补给机制的识别作为地下水资源合理评价的基础,是识别地下水可采资源量的重要参考依据,更是当前研究的重中之重。但是该区地下水资源的研究程度相对较低,资料多来源于20世纪80年代,近些年来,研究较少,且多基于区域性的传统水文地质方法的调查层面,而利用同位素方法对于该区地下水补给状况的研究近期还未见到。因此,本文主

收稿日期:2016-04-18

基金项目:国家自然科学基金项目(41272252);中国地质调查项目(1212011121141)

作者简介:刘君(1980-),女,河北石家庄人,助理研究员,主要从事同位素水文地质研究。E-mail: huilingjun69@163.com

要利用氢氧稳定同位素(D和 ^{18}O)的分布特征对目前该区地下水的补给来源和补给机制进行了探讨,分析该区地下水的补给特征,从而为该区地下水资源的可持续开发利用提供科学依据。

2 研究区概况

余太盆地位于乌拉山与色尔腾山之间,西邻乌梁素海,地势北高南低,为一马蹄形盆地(见图1)。海拔1600~2300m,气候属于中温带干旱半干旱气候,全年主导风向为东风,年平均气温 5.6°C ,年平均降雨量为180mm,年平均蒸发量为2365mm,封冻期4个月。区内地表河流属黄河流域水系,流入乌梁素海。

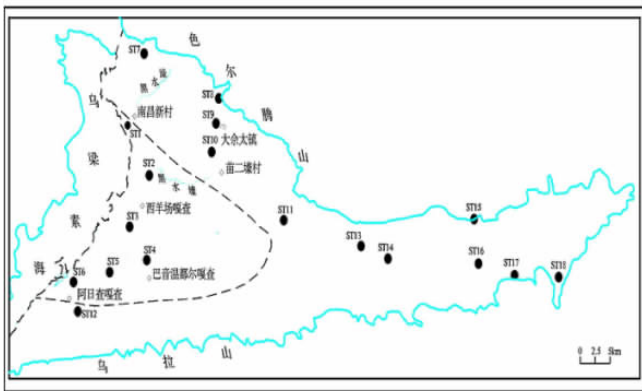


图1 研究区位置与采样点分布

Fig.1 The study area and sampling sites

该盆地主要由山前冲洪积平原和冲湖积凹陷组成。地表岩性东部主要为砂砾石,西部为亚粘土。其中余太盆地山前冲洪积平原主要由色尔腾山与乌拉山山前的冲洪积扇群及山前倾斜平原组成,系统面积 617.53km^2 。系统外侧北边界、北东边界为色尔腾山前西水道-乌兰忽洞-台梁断裂,为山前跌水边界;南边界为乌拉山前乌梁素海农场-西勒庙一线以北第二断裂及哈业忽洞-补拉断裂,在大坝沟以西,由于第二断裂的影响,使南部红层抬高,形成红土台地及山前倾斜平原,含水微弱,形成隔水边界,在大坝沟以东,由于红层大部分被冲刷,不影响乌拉山地下水对冲积洪积裙的补给,形成山前跌水边界。色尔腾山冲积洪积扇群由大小不等的冲积洪积扇相连而成,其厚度大于200m,由厚层砂砾石层夹粘性土形成。砂砾石层绝大部分含水,在200m以内,含水层厚度60~120m,水量丰富,单位涌水量一般为 $18\sim 36\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。乌拉山冲积洪积扇群也由大小不等的冲积洪积扇相互迭置而成。主要分为三个含水组:第一含水组为冲积洪积群主要含水组,在乌梁

素海农场-西勒庙一线第二断裂以南,第三系红层埋藏较浅,水位埋深大于60m,含水层较薄,往往小于20m甚至不含水,第二断裂带往北,水位埋藏变浅,除南部个别地段为10~30m外,大部分小于10m,含水层厚度达到51~66m,以砂砾石为主,单位涌水量 $36\sim 108\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 左右。第二含水组顶板埋深90~120m,底板埋深100~150m,含水层厚度一般为2~15m。第三含水组位于第三断裂带以北,含水层顶板埋深120~175m,底板埋深147~195m,亦由南向北倾斜,含水层以砂砾石为主,并向扇裙的边部变细。余太盆地冲湖积凹陷面积 436.54km^2 。系统北边界及北东边界在八分子-十九分子-德虎补隆-红山口-打花补隆一线,南边界阿拉本公社-大西滩一线,为盆地冲湖积平原凹陷带与山前冲洪积平原的分界线,为侧向补给边界;西边界为乌梁素海,为侧向排泄边界。乌拉山与色尔腾山之间为冲积湖积平原,以断陷(或凹陷)与山前冲积洪积裙相接。岩性主要为粉细砂、淤泥质粉砂、粉砂质淤泥,近冲积洪积裙地带夹有一些砂砾石层。以淤泥层为界均可以分为两个含水层,上部潜水含水层,水量微弱;在潜水含水层下部,为一由南向北,由东向西倾斜的湖积淤泥层,淤泥层下部为承压含水层,由粉细砂、粘土质或淤泥质粉细砂组成,偶尔夹薄层砾石层,埋藏在30~90m以下,并由东向西,由近冲积洪积裙边部向口口脑包、大兴公一带埋藏变深的规律,含水层厚度、水量、水位埋深也沿此方向递变。含水层厚度沿上述方向由110~120m递减为60~70m,单位涌水量由 $18\sim 36\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 递减为 $1.8\sim 3.6\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,水位埋深由30~60m至喷出地面10~20m或更高。冲积湖积平原承压含水组各含水层之间,尚有厚薄不等的淤泥,粉砂质淤泥及砂质粘土隔水层,隔水层至冲积湖积裙则变薄或尖灭,使其与冲积洪积砂砾石含水层成为互有水力联系的统一含水层。地下水化学类型主要为 $\text{Na}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}-\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4$ 型,矿化度除靠近乌梁素海的地区稍微偏高外,大部分地区都小于 $1.0\text{g}/\text{L}$ 。

3 采样与测试

本次研究于2009年在余太盆地及周边地区采集地下水D和 ^{18}O 同位素样品18个。样品点主要分布在盆地的西部和北部,涉及山前冲洪积平原和冲湖积凹陷区,采样点位置分布见图1。

样品在井抽水半个小时以后采取,温度、pH、电导

率等参数在现场测试。其中 D 和 ^{18}O 的取样直接采集在 0.5L 的高密度聚乙烯塑料瓶中, 充满容器后密封, 避免因蒸发导致 D 和 ^{18}O 的分馏, 影响数据的准确性, 样品分析测试由国土资源部水文地质专业测试中心完成。 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的测试是在 Finnigan MAT-253 质谱仪上完成的, 其中 $\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$ 比值是利用 CO_2 平衡方法, D/H 比值是利用锌还原方法制备测试样品后测试的, δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的测试精度分别为 $\pm 0.1\text{‰}$ 和 $\pm 0.05\text{‰}$ 。

4 结果与讨论

4.1 地下水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化特征

余太盆地的地下水样品分别采自山前冲洪积平原和冲湖积平原区, 其中山前冲洪积平原区的地下水样品的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围分别为 $-77\text{‰} \sim -57\text{‰}$ 和 $-10.4\text{‰} \sim -6.3\text{‰}$, 其平均值分别为 $(-70 \pm 6)\text{‰}$ 和 $(-8.5 \pm 1.2)\text{‰}$; 冲湖积平原区的地下水样品的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围分别为 $-84\text{‰} \sim -62\text{‰}$ 和 $-10.9\text{‰} \sim -6.8\text{‰}$, 其平均值分别为 $(-69 \pm 9)\text{‰}$ 和 $(-8.3 \pm 1.5)\text{‰}$ (见表 1)。

从垂向分布来看, 山前冲洪积平原区的地下水样品多分布在 90~120m 范围内, 其 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化大致分为两部分, 靠近山前的地下水样品的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值相对于靠近乌梁素海的样品的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏高, 其 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值随着深度的增加略有减小的趋势; 冲湖积平原区的地下水样品除个别点外多分布在 20m 深度之内, 且其值随着深度的增加变化并不明显 (见图 2)。

4.2 当地大气降水的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 特征

大气降水的同位素组分是地下水的“输入函数”, 是分析地下水补给来源的基础。由于余太盆地不在国际原子能机构的大气降水同位素监测站点中, 因此, 对于余太盆地大气降水的同位素特征, 只能选择与之毗

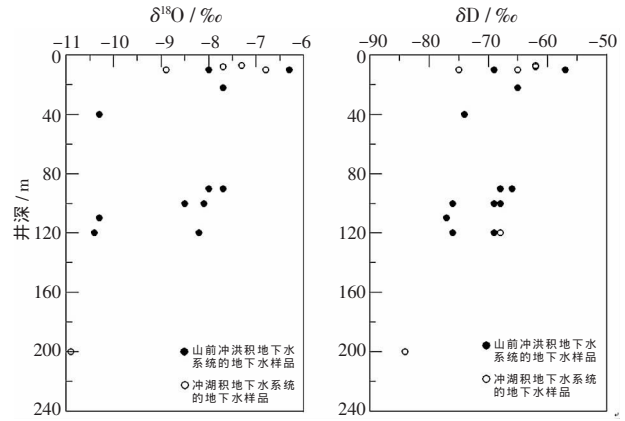


图 2 余太盆地地下水 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 随深度的变化

Fig.2 Variation of δD and $\delta^{18}\text{O}$ with the depth of shallow groundwater in the Shetai basin

邻的站点资料来讨论。通过比较气候和水文地质条件, 选择与之临近的包头站大气降水的 δD 与 $\delta^{18}\text{O}$ 的资料来分析。

根据包头站 1986~1992 年的大气降水的同位素观测数据, 大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的算术平均值分别为 -8.1‰ 和 -57‰ , 降水加权平均值分别为 -7.6‰ 和 -53‰ 。根据最小二乘法求得该区当地大气降水的 $\delta\text{D} \sim \delta^{18}\text{O}$ 方程为 $\delta\text{D} = 6.4\delta^{18}\text{O} - 5.2$ (见表 2), 该方程的斜率和截距都小于全球大气降水线的数值, 反映出干旱的气候特征。

4.3 地下水补给来源的识别

地下水的同位素组成特征包含了补给区和补给时期的信息, 不同来源的地下水具有不同的同位素组成。如果地下水是由河流侧渗补给的, 那么地下水的同位素特征将反映河流补给区的特征, 而不是当地降水的特征^[18]。如果地下水有几种不同地区的降水补给来源, 而且在不同地区形成这些降水的蒸发, 凝结条

表1 余太盆地地下水系统同位素变化特征

Table1 The stable hydrogen and oxygen isotope values of groundwater in the Shetai basin

位置	δD		$\delta^{18}\text{O}$	
	范围	平均	范围	平均
山前冲洪积平原区	$-77\text{‰} \sim -57\text{‰}$	$(-70 \pm 6)\text{‰}$	$-10.4\text{‰} \sim -6.3\text{‰}$	$(-8.5 \pm 1.2)\text{‰}$
冲湖积平原区	$-84\text{‰} \sim -62\text{‰}$	$(-69 \pm 9)\text{‰}$	$-10.9\text{‰} \sim -6.8\text{‰}$	$(-8.3 \pm 1.5)\text{‰}$

表2 包头大气降水稳定同位素组成特征

Table2 The stable hydrogen and oxygen isotope values of precipitation in the Baotou area

年份	样品数	$\delta\text{D} \sim \delta^{18}\text{O}$ 方程	R^2	算术平均值 / ‰		加权平均值 / ‰	
				$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{18}\text{O}$	δD
1986~1992	60	$Y = 6.4 * X - 5.2$	0.93	-8.1	-57	-7.6	-53

件也各不相同,那么在不同地区降水来源的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 图上的直线就会出现不同的斜率和截距,据此就可以判断地下水的补给来源^[19-20]。

从余太盆地及其周边地下水样品的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系图上可见(见图3):样品点落在降水线的右下方,低于包头降水平均值,表明来自高程较高的山区补给,样品点偏离降水线,呈现出经历了蒸发影响的特征。

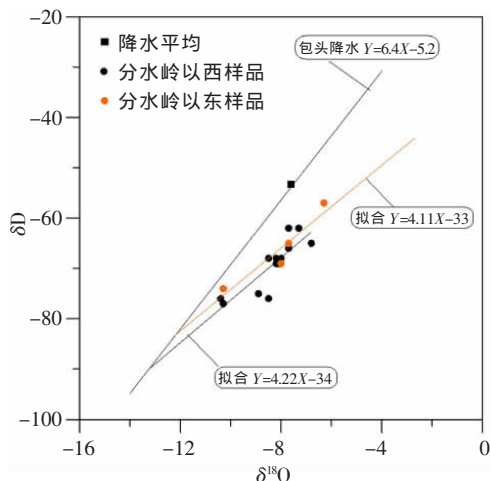


图3 余太盆地地下水样品的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系

Fig.3 The relation between δD and $\delta^{18}O$ in the groundwater of the Shetai basin

水文地质条件表明余太盆地地下水补给主要来自北部山区。由于盆地中部存在地下分水岭,两侧的水流方向不同,各自的补给源区也不尽相同,东侧地下水样品沿着拟合直线 $\delta D = 4.11 \delta^{18}O - 33$ 分布,西侧样品沿着拟合直线 $\delta D = 4.22 \delta^{18}O - 34$ 分布,可见地下水经历的蒸发强度基本相同,所不同的是东部样品原始补给水的同位素比值(拟合直线与降水线交点)稍大于西部原始补给水的同位素比值,这表明西部的补给区高程要高于东部的补给区高程,从地貌条件来看,西部补给区的高程比东部高,证实了同位素组成特征的推断结论。

4.4 地下水补给概念模型

根据余太盆地地质及水文地质条件及浅层地下水 δD 和 $\delta^{18}O$ 的变化特征,余太盆地浅层地下水的补给模式主要是:当地降水直接渗透补给地下水的量很小,主要是来源于周边高程较高的山区降水的补给。色尔腾山和乌拉山的山区降水除形成地表径流外,还补给山区地下水。地表水进入冲洪积平原后,地表水经历蒸发作用,且大部分渗入潜水层,自西向东流经冲洪积平原、冲湖积凹陷盆地,部分转化为承压和半承压水,部分即系向东流入乌梁素海,见图4。

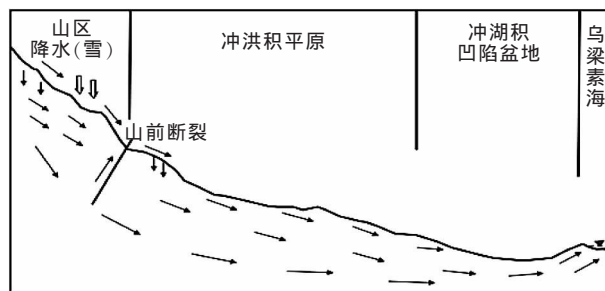


图4 余太盆地浅层地下水补给模式图

Fig.4 Conceptual diagram of the shallow groundwater recharge in the Shetai basin

5 结论

依据该区地下水中的 δD 和 $\delta^{18}O$ 的变化特征,可以将该区地下水样品大致分为2组:盆地东部和西部的浅层地下水。根据 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系图所反映的信息并结合当地地质与水文地质条件分析可以发现该区地下水的补给存在以下特征:该区浅层地下水受到当地降水的补给较少,主要来自周边高程较高的山区降水的补给,且盆地东、西部地下水的补给源区不尽相同,西部的补给区高程要高于东部的补给区高程;同时,该区浅层地下水经受的蒸发作用的影响较强烈,如果地下水开采程度太高,地下水资源的开发利用量将面临严重的威胁,可能会引发区域生态环境的恶化,因此,迫切的需要加强该区地下水资源开发管理,制定合理的开发利用方案以保障地下水资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] Coplen T.B., Herczeg A.H., Barnes C. Isotope engineering—using stable isotopes of the water molecule to solve practical problems [A]. In Environmental Tracers in Subsurface Hydrology, Ed. P.G. Cook and A.L. Herczeg. Norwell[C]. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Shinichi Onodera, Koichi Kitaoka, Masaki Hayashi, et al. Evaluation of the groundwater recharge process in a semiarid region of Tanzania, using δD and $\delta^{18}O$ [A]. Proceedings of the Vienna Symposium August 1994 [C]. IAHS Publ. 1995.
- [3] Abhijit Mukherjee, Alan E. Fryar, Harold D. Rowe. Regional-scale stable isotopic signatures of recharge and deep groundwater in the arsenic affected areas of west Bengal, India [J]. Journal of Hydrology, 2007,334:151-161.
- [4] Kyle W. Blasch, Jeannie R. Bryson. Distinguishing sources of groundwater recharge by using δ^2H and $\delta^{18}O$ [J]. Ground Water, 2007,45(3):294-308.
- [5] 陈宗宇,万力,聂振龙,等.利用稳定同位素识别黑河流域地下水的补给来源[J]. 水文地质工程地质, 2006,6:9-14. (CHEN Zongyu, WAN

- Li, NIE Zhenlong, et al. Identification of groundwater recharge in the Heihe basin using environmental isotopes [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2006,6:9–14. (in Chinese))
- [6] 张光辉, 聂振龙, 谢悦波, 等. 甘肃西部平原区地下水同位素特征及更新性[J]. *地质通报*, 2005,24(2):149–155. (ZHANG Guanghui, NIE Zhenlong, XIE Yuebo, et al. Isotopic characteristics of groundwater and its renewal in the plain area of western Gansu [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005,24(2):149–155. (in Chinese))
- [7] 马金铢, 黄天明, 丁贞玉, 等. 同位素指示的巴丹吉林沙漠南缘地下水补给来源[J]. *地球科学进展*, 2007,22(9):922–930. (MA Jinzhu, HUANG Tianming, DING Zhenyu, et al. Environmental isotopes as the indicators of the groundwater recharge in the south Badain Jaran desert [J]. *Advances in Earth Science*, 2007,22(9):922–930. (in Chinese))
- [8] 李文赞, 严平, 刘永刚, 等. 库姆塔格沙漠东北缘浅层地下水补给来源[J]. *中国沙漠*, 2011,31(6):1617–1622. (LI Wenzan, YAN Ping, LIU Yonggang, et al. Phreatic water recharged source on the northeast of Kumtag desert [J]. *Journal of Desert Research*, 2011,31(6):1617–1622. (in Chinese))
- [9] Kamtchueng BT, Fantong WY, Wirmvem MJ, et al. A multi-tracer approach for assessing the origin, apparent age and recharge mechanism of shallow groundwater in the Lake Nyos catchment, North-west [J]. *Journal of Hydrology*, 2015,523:790–203.
- [10] Liu YP, Yamanaka T. Tracing groundwater recharge sources in a mountain–plain transitional area using stable isotopes and hydro-chemistry [J]. *Journal of Hydrology*, 2012,464–465:116–126.
- [11] Mokadem N, Demdoun A, Hamed Y, et al. Hydrogeochemical and stable isotope data of groundwater of a multi-aquifer system: northern Gafsa basin–Central Tunisia [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2016,114:174–191.
- [12] 周慧芳, 谭红兵, 张西营, 等. 江苏南通地下水补给源、水化学特征及形成机理[J]. *地球化学*, 2011,40(6):566–576. (ZHOU Huifang, TAN Hongbing, ZHANG Xiyong, et al. Recharge source, hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in Nantong, Jiangsu province [J]. *Geochimica*, 2011,40(6):566–576. (in Chinese))
- [13] 潘国营, 张坤, 王佩璐, 等. 利用稳定同位素判断矿井水补给来源—以平禹一矿为例[J]. *水资源与水工程学报*, 2011,22(6):119–122. (PAN Guoying, ZHANG Kun, WANG Peilu, et al. Judgement of mine water recharge source using stable isotope—A case study of 1st mine of Pingyu [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2011,22(6):119–122. (in Chinese))
- [14] 侯燕军, 王建红, 朱经亮. 应用氢、氧同位素研究苏干湖盆地大、小苏干湖湖水补给来源[J]. *甘肃地质*, 2010,19(3):66–69. (HOU Yanjun, WANG Jianhong, ZHU Jingliang. Research on water supplying resources of big and small Sugan lake in Sugan lake basin by using hydrogen and oxygen isotope [J]. *Gansu Geology*, 2010,19(3):66–69. (in Chinese))
- [15] 张保健, 徐军祥, 马振民, 等. 运用 H、O 同位素资料分析地下热水的补给来源[J]. *地质通报*, 2010,29(4):603–609. (ZHANG Baojian, XU Junxiang, MA Zhenmin, et al. Analysis on groundwater supply sources using hydrogen and oxygen isotope data—a case study of Yanggu–Qihe salient, northwestern Shandong, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2010,29(4):603–609. (in Chinese))
- [16] 陈建生, 季弼宸, 刘震, 等. 内蒙古高原岱海接受远程深循环地下水补给的环境同位素及水化学证据[J]. *湖泊科学*, 2013,25(4):521–530. (CHEN Jiansheng, JI Bichan, LIU Zhen, et al. Isotopic and hydro-chemical evidence on the origin of groundwater through deep-circulation ways in Lake Daihai region, Inner Mongolia plateau [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013,25(4):521–530. (in Chinese))
- [17] 张贺强. 缓解乌拉特前旗山旱牧区水资源紧缺对策初探 [J]. *内蒙古科技与经济*, 2000,5:16–17+35. (ZHANG Heqiang. Countermeasure of easing the problem of water resource shortage in Wulateqianqi grazing land [J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2000,5:16–17+35. (in Chinese))
- [18] 陈宗宇, 齐继祥, 张兆吉, 等. 北方典型盆地同位素水文地质学方法应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010:21–22. (CHEN Zongyu, QI Jixiang, ZHANG Zhaoji, et al. Application of Isotope Method in Hydrogeology in Typical Basin in North China [M]. Beijing: Science Press, 2010:21–22. (in Chinese))
- [19] 吴晓静. 谈运用稳定同位素法查寻地下水污染源 [J]. *大众科技*, 2006,3:114. (WU Xiaojing. Tacing source of groundwater pollution by using stable isotope [J]. *Popular Science & Technology*, 2006,3:114. (in Chinese))
- [20] Clark I D, Fritz P. *Environmental Isotopes in Hydrogeology* [M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997.

Using Stable Isotope Method to Identify Sources of Groundwater Recharge in Shetai Basin, Inner Mongolia

LIU Jun, WANG Ying, WEI Wen, ZHANG Lin, LIU Fuliang

(*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China*)

Abstract: In order to study groundwater recharge in the Shetai Basin, groundwater in shallow aquifers was investigated and sampled to analyze their environmental isotope values. The sources of groundwater recharge can be identified by these results and regional geological and hydrogeological conditions in this paper, and the conceptual model was inferred which indicates the regional groundwater recharge conditions. The results show that the main recharge sources of groundwater in this area is not from local precipitation but from precipitation in the surrounding mountain areas and the evaporation effect of groundwater is obvious. The recharge area of the eastern part is different from the western part in this basin, and the recharge elevation of the western part is higher than the eastern part. The evaporation effect of groundwater in the two parts is similar.

Key words: groundwater; stable isotope; recharge sources; arid and semi-arid areas