

新疆叶尔羌河流域地下水同位素特征 及其补给来源分析

武倩倩¹ 任加国¹ 许 模²

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要:笔者以新疆叶尔羌河流域为例,在研究区水文地质调查的基础上,根据不同区域、不同深度 D、¹⁸O 和 T 值的变化分析地下水补给来源,解决了传统研究方法很难解决的问题,为干旱地区地下水起源及空间分布规律研究提供了新思路。研究表明:(1)研究区地下水不是来自大气降水的直接入渗,而是地表水渗漏补给。(2)流域分为两个独立的地下水循环系统,分别接受叶尔羌河与提孜那甫河水补给。(3)潜水和承压水的起源相同,属统一的地下水系统。(4)地下水径流表现为倾斜平原区径流强烈,地下水以水平运动为主;细土平原区地下水径流迟缓,地下水以垂直蒸发运动为主,径流方向与地表水流向密切相关。

关键词:叶尔羌河流域;环境同位素;地下水;水循环

中图分类号:P641.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)02-0331-06

1 前 言

地表水和地下水是流域水循环的重要组成部分,流域内地表水和地下水之间的相互作用是流域水循环研究的关键环节。环境同位素作为水循环研究中的示踪剂,可以有效地揭示流域内地表水和地下水之间的转化关系。尤其在干旱地区,水资源严重短缺,地下水作为稳定水源越来越受到人们的重视^[1]。而地下水过量开采会引起一系列水生态环境问题,地下水补给来源的研究为合理开发利用地下水资源,缓解水资源紧缺问题提供了科学依据。

环境同位素是目前定量描述流域地下水补给关系的先进手段^[2]。该方法在国内外广泛应用于地下水补给来源的确定和地下水环境演化研究^[3-6]。在西北干旱地区,由于复杂的水文地质条件,关于转化补给的过程仍不十分清楚,至今仍缺乏对新疆叶尔羌河流域地下水补给来源的研究。

叶尔羌河流域是新疆最大的灌区,位居全国第四的特大型灌区之一。流域气候干旱,来水量极不平衡,灌区连年春旱严重,合理开发地下水资源,

调节水资源供应势在必行。同位素技术将水循环过程作为一个统一的整体来研究,有利于摸清地下水补给来源,叶尔羌河冰雪融水从山前砾石带过渡到细土平原区的过程中,地表水与地下水不断发生循环交替,转化方式复杂。要搞清该区水循环规律,有必要对地下水的补给来源进行深入研究。

笔者通过现场调查,采集地下水水样,测定水样的 D 和 O-18 环境同位素,分析流域环境同位素特征,揭示变化环境下的地下水循环变化规律,为流域地下水合理开采利用提供科学依据。

2 自然地理概况

叶尔羌河流域位于新疆维吾尔自治区西南部,塔里木盆地西缘,地理坐标在东经 74°28'~80°54',北纬 34°50'~40°31'(图 1),总面积为 10.81×10⁴ km²,其中山区面积 6.08×10⁴ km²,平原区面积为 4.73×10⁴ km²。主要河流有叶尔羌河(简称叶河)、提孜那甫河(简称提河),与较小水系乌鲁克河、柯克亚河及保拉沟相互贯通,形成叶尔羌河水系。叶尔羌河发源于喀喇昆仑山脉的喀喇昆仑山口,是一条典型的冰雪

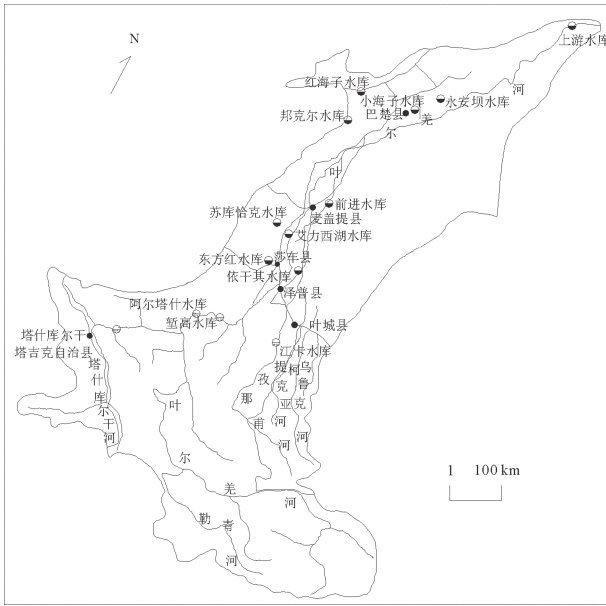


图1 叶尔羌河流域示意图

Fig.1 Schematic map of the Yarkant River drainage area

补给型河流,多年平均径流为 $7.43 \times 10^9 \text{ m}^3$,径流量年内和年际分布不均。

研究区地处欧亚内陆腹地,其南、西、北三面高山环绕,阻碍了大西洋和印度洋暖、湿气流的入境;东面受塔克拉玛干大沙漠干热气流的影 响,从而形成以降水量稀少、蒸发强烈为主要特征的大陆性干旱气候,年平均气温 $11.4 \sim 12.3^\circ\text{C}$,多年平均降水量仅为 53.14 mm ,而多年平均蒸发量为 2196 mm 。

流域冰雪融水是地表水、地下水的充沛补给源;冲洪积平原堆积的第四纪松散层是地下水赋存和运移的主要场所;泉溪排泄、蒸发与蒸腾为地下水排泄的主要方式。由于复杂的地质构造、岩相岩性的变化、地表水发育程度不同等因素,决定了不同地貌单元地下水赋存和分布的特殊性。区内第四系松散堆积层,

主要分布在叶河、提河等河的冲洪积扇及其下游的冲积平原与沙漠区,分布面积甚广。含水层岩性为中砂、细砂、粉砂,并夹薄层亚粘土、亚砂土层。平原区地下水,在接受侧向地下水径流补给的同时,在垂向上与地表水和大气发生着强烈的水量转化和交替。

3 样品采集与分析

环境同位素取样在纵向上以流域为主线,横向上加密点控制,于2005年9月至2006年6月共采集样品60组(表1),取样尽量避免人为因素干扰,远离渠道和人工堰渠,基本控制了 整个流域。

样品由中国地质科学院桂林岩溶研究所测定,其中 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分别采用锌还原法和二氧化碳水平衡法用 MM903 型质谱仪进行测定,利用 LSC-LB1 型低本底液闪仪测定 T,所用仪器需样品量少,分析精度高^[7]。

4 环境同位素中的转化信息研究

根据研究区的水文地质状况,将流域分为山前区、溢出带区和冲积平原区,利用不同区域的环境同位素信息,分析地表水和地下水的同位素特征,研究不同区域相互间的补给关系,分析地下水的补给来源。

4.1 地表水与地下水同位素特征

研究区地表水与地下水同位素组成特征见 $\delta \text{D} - \delta^{18}\text{O}$ 关系图(图2)。从图中可以看出,地下水同位素值普遍偏离山区降水线而位于其左侧上方,且绝大部分落在河水的同位素组成范围内,大致沿一条斜率为 7.02 的蒸发线分布。不同位置河水同位素组成数据点也基本分布在地下水同位素组成蒸发线上,很难与地下水数据点截然分开。上述特征表明:研究区地下水不是来自大气降水的直接入渗,而是地表水(包括河水、渠道水、田间渠系灌溉水)渗漏

表1 同位素测试结果分区统计

Table 1 Statistics of the results of isotope analysis by areas

区域	水样种类	样品数	$\Delta \text{D}/\text{‰}$			$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$			T 值范围
			最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	
山前区	地表水	3	-31.4	-81.5	-63.5	-6.01	-12.05	-10	19~22
	地下水	3	-40.1	-79.6	-55.8	-7.05	-12.03	-8.8	~12
溢出带区	地表水	1	-61.8	-61.8	-61.8	-9.09	-9.09	9.09	2
	地下水	10	-53.5	-83.1	-74.27	-7.76	-12.11	-10.89	0~59
冲积平原区	地表水	5	-49.3	-64.0	-56.4	-7.14	-8.87	-7.8	3~13
	地下水	38	-48	-86.7	-71.4	-7.6	-12.39	-10.26	~43

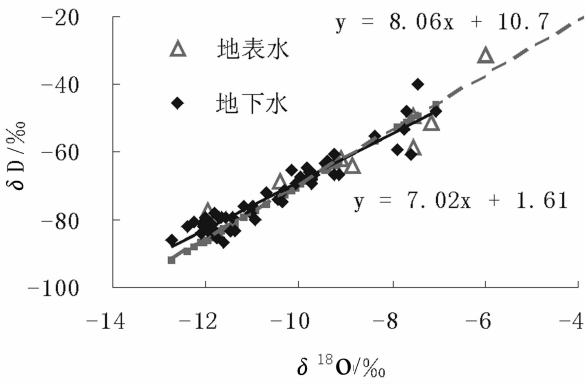


图 2 研究区 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图

Fig.2 $\delta D-\delta^{18}O$ diagram in the study area

补给。地下水的 δD 值频率分布直方图(图 3)能进一步印证上述结论。其基本特征是:山前区及溢出带分布最大频率落在同位素最小值,说明该区水来自贫重同位素的山区水;冲积平原同位素分布极不对称,最大频率落在本区河水稳定同位素平均值附近。这表明无论是溢出带还是冲积平原区,地下水均来源于地表水入渗,地下水以垂直蒸发运动为主,径流方向和地表水流向有密切关系。

研究区地表水取样 9 组,同位素特征见图 4,从图中散点分布状况可看出:水库受蒸发作用影响, δ 值偏高,重同位素富集。左下端泉点(Y2、Y13)反

应叶河出山口水源的同位素特征,右上端泉点(Y5)反应了提河出山口水源的同位素特征。叶河从卡群渠首(Y1)到莎车县荒地镇 3 村(Y25)受蒸发作用影响, δ 值逐渐升高;提河从江卡渠首(Y4)到阿瓦提区肖依巧奇村(Y21)同位素值降低,但明显较上游莎车县荒地镇 3 村(Y25) δ 值高,说明地表水受强烈蒸发作用影响从上游到下游重同位素逐渐富集,提河下游接受叶河水的补给作用。

研究区地下水同位素特征见图 5,手压井 $\delta^{18}O = -7.6\text{‰} \sim -12.39\text{‰}$, $\delta D = -48\text{‰} \sim -86.7\text{‰}$; 变幅分别为 4.79‰和 38.7‰,均值分别为 -12.04% 和 -64.7‰ ;机井 $\delta^{18}O = -9.13\text{‰} \sim -12.72\text{‰}$, $\delta D = -60.4\text{‰} \sim -86.5\text{‰}$; 变幅分别为 3.59‰和 26.4‰,均值分别为 -9.95‰ 和 -60.4‰ 。变幅很大,但手压井、机井同位素特征大部分落在 $\delta^{18}O = -9.5\text{‰} \sim -12.0\text{‰}$, $\delta D = -90\text{‰} \sim -65\text{‰}$,基本反应叶河河水特征,说明平原区潜水和承压水的起源相同,属统一的地下水系统。地下水径流表现为倾斜平原区径流强烈,地下水以水平运动为主;细土平原区地下水径流迟缓,地下水以垂直蒸发运动为主。

4.2 地表水与地下水之间转化关系

4.2.1 山前区同位素特征及转化

山前区位于叶城县城以北、莎车县城以南地带,从同位素组成特征不难发现地下水同位素值普遍偏离山区降水线而位于其左侧上方(图 6),基本落在

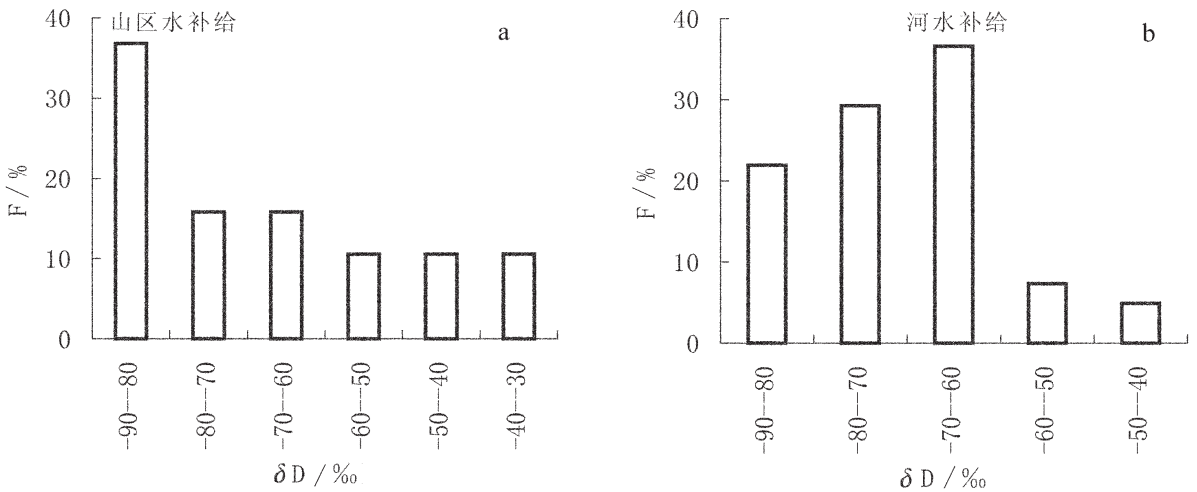


图 3 地下水 δD 值频率分布直方图

a—山前及溢出带;b—平原区

Fig.3 Histograms of δD frequency distributions of groundwater

a—Hill front and overflow zone;b—Plain area

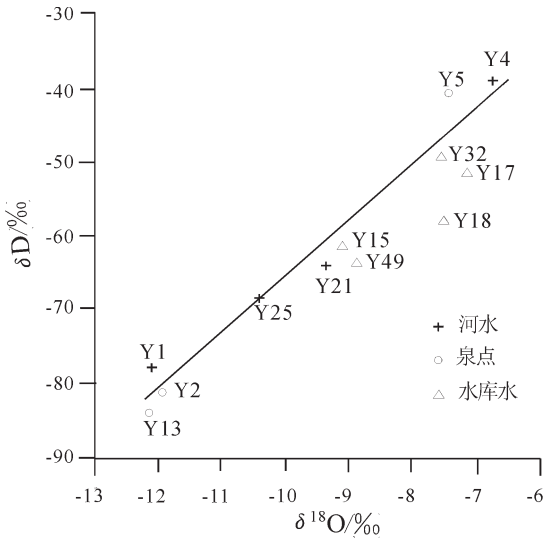


图4 地表水 δD—δ¹⁸O 关系图

Fig. 4 δD—δ¹⁸O diagram of surface water

河水同位素组成范围内,从图中散点分布状况,地下水同位素组成大体可分成两组:I组沿蒸发线的下端分布,重同位素相对贫化,属于出山口冰雪融水,其左下端点正好为叶河出山口河流水的平均同位素组成;II组沿蒸发线上端富集重同位素方向分布,该区位于提河上游,受降雨影响明显,宗郎水库麻扎泉群水样落在降水线附近,也表明出山口同位素特征与山区降水同位素特征基本一致,表明上述两区地下水来自两个不同系统水补给。

4.2.2 溢出带区同位素特征及转化

从溢出带区同位素组成特征(图7)可以看出:地

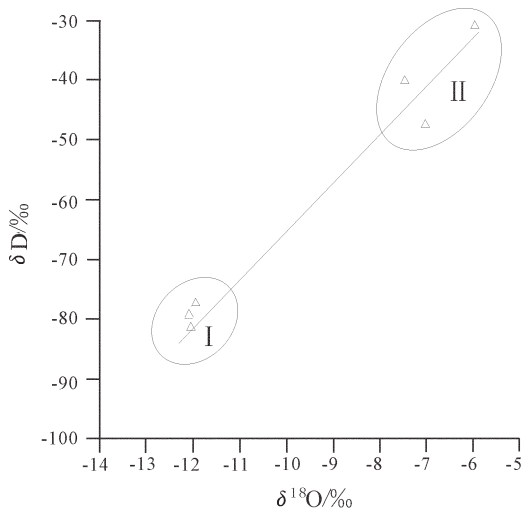


图6 山前 δD—δ¹⁸O 关系图

Fig.6 δD—δ¹⁸O diagram of the hill front

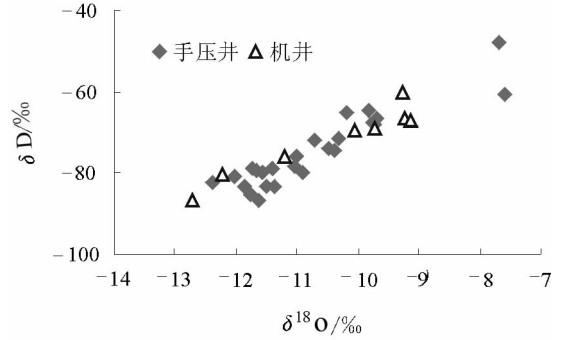


图5 地下水同位素 δD—δ¹⁸O 关系图

Fig.5 δD—δ¹⁸O diagram of groundwater

下水同位素组成可分成两组,I组沿蒸发线下端分布,重同位素相对贫化,与山前区I组相近,山前区 δ¹⁸O = -11.94‰ ~ -12.05‰, δD = -77.5‰ ~ -81.5‰;变幅分别为 0.11‰和 4.0‰,均值分别为 -12.01‰和 -79.53‰;溢出带区 δ¹⁸O = -11.83‰ ~ -12.11‰, δD = -77.7‰ ~ -83.8‰,变幅分别为 0.28‰和 6.1‰,均值分别为 -11.94‰和 -81.69‰,说明该区地下水接受叶河出山口水源补给。II组沿蒸发线上端富集重同位素方向分布,该区最上端水样基本保持了山前提河出山口的同位素特征,尤其叶城江格勒斯克乡13队水厂(Y59)水样 δ¹⁸O = 7.76‰与山前提河出山口宗郎水库麻扎泉群的同位素特征基本相同 δ¹⁸O = 7.46‰,说明叶城县江格勒斯以北地段溢出带地下水来自提河出山口地表水或

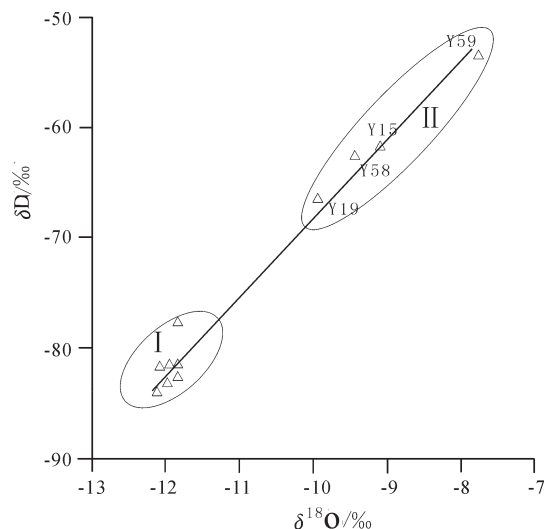


图7 溢出带 δD—δ¹⁸O 关系图

Fig.7 δD—δ¹⁸O diagram of the overflow zone

山区地下水直接补给,该区地下水接受提河出山口水源补给,这是两个独立的地下水循环系统,从区域位置上也可以证实。

4.2.3 溢出带与冲积平原区地下水转化关系

平原区散点分布状况(图 8)表明,平原区地下水保持山前及溢出带同位素特征,但由于平原区受河水、田间灌溉用水、水库渗漏等影响,不同区域接受不同程度补给,进行不同转化,将图中散点分布大体分成 3 个区域: I 区(△ 表示)叶河两侧,地下水基本反应了叶河同位素特征; II 区(+ 表示)与小海子水库同位素特征基本一致,该区地下水较浅,受蒸发作用强烈,较上游区明显富重同位素,该区 T 值大于 40TU,说明地下水滞留时间较长,也是该区土壤盐碱化的原因,该区 δ 最小值受叶河河水影响,相对贫重同位素; δ 最大值位于叶河流域尽头沙漠边缘,重同位素富集。III 区(× 表示)分布依于其水库下游,δ 值范围-9.26‰~-9.82‰,明显接受提河上游溢出带地下水和地表水补给。

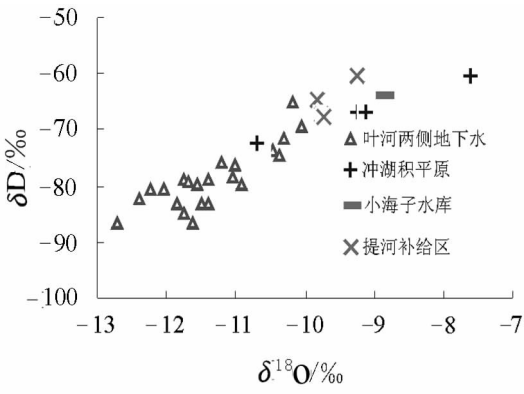


图 8 平原区 δD-δ¹⁸O 关系图

Fig.8 δD-δ¹⁸O diagram of the plain area

5 结论

(1)研究区地下水不是大气降水的直接入渗,而是山前侧渗补给和平原区地表水入渗(水库渗漏、田间渗漏、渠系渗漏、河道渗漏等)补给。

(2)流域分为两个独立的地下水循环系统,分别接受叶河与提河河水补给;平原区潜水和承压水的起源相同,属统一的地下水系统。

(3)受蒸发作用的影响,从山前区到平原区重同位素逐渐富集,山前区及溢出带地下水远较冲积平原区贫重同位素,δ 值相对稳定;冲积平原区地下水同位素组成的时空变化显著,断流带地下水普遍较有水带富重同位素。

(4)地下水径流表现为倾斜平原区径流强烈,地下水以水平运动为主;细土平原区地下水径流迟缓,地下水以垂直蒸发运动为主,径流方向基本与地形坡度一致,并与地表水流向有密切关系。

参考文献(References):

[1] 胡海英,包为民,王涛,等. 氢氧同位素在水文学领域中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005, (5):4-8.
Hu Haiying, Bao Weimin, Wang Tao, et al. Application of hydrogen and oxygen isotopes in hydrology [J]. China Rural Water and Hydropower, 2005, (5):4-8(in Chinese with English abstract).

[2] Mählknecht J, Schneider J F, Merkel B J, et al. Groundwater recharge in a sedimentary basin in semi-arid [J]. Mexico Hydrogeology Journal, 2004, 12:511-530.

[3] 张宗祜,沈照理,薛禹群,等. 华北平原地下水环境演化 [M]. 北京:地质出版社, 2001:1-281.
Zhang Zonggu, Shen Zhaoli, Xue Yuqun, et al. Evolution of the Groundwater Environment in the North China Plain [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001:1-281(in Chinese with English abstract).

[4] Tang C Y, Chen J Y, Shen YJ. Long term effect of wastewater irrigation on nit rate in groundwater in the North China Plain [J]. IAHS Pub, 2003, 1285:34-401.

[5] 宋献方,夏军,于静洁,等. 应用环境同位素技术研究华北典型流域水循环机理的展望[J]. 地理科学新进展, 2002, 21(6):527-536.
Song Xianfang, Xia Jun, Yu Jingjie, et al. The prospect in the research of water cycle at the typical catchments of North China Plain using environmental isotopes [J]. Progress in Geography, 2002, 21(6):527-536(in Chinese with English abstract).

[6] 刘丹,刘世青,徐则民. 应用环境同位素方法研究塔里木河下游浅层地下水[J]. 成都理工大学学报, 1997, 24(3):89-95.
Liu Dan, Liu Shiqing, Xu Zemin. Environmental isotope studies on shallow groundwater in the lower Tarim River, Xinjiang [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24 (3):89-95 (in Chinese with English abstract).

[7] 刘贯群,陈浩,韩曼,等. 内蒙李井灌区地下水氢氧同位素特征[J]. 中国水运, 2007, 5(5):118-120.
Liu Guanqun, Chen Hao, Han Man, et al. Features of hydrogen and oxygen isotopes in groundwater of irrigation area of Luanjing, inner Mongolia [J]. China Water Transport, 2007, 5 (5):118-120 (in Chinese with English abstract).

Isotope features and supply sources of groundwater in the Yarkant River drainage area, Xinjiang

WU Qian-qian¹, REN Jia-guo¹, XU Mo²

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China;

2. Chengdu university and technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: On the basis of hydrogeological investigation of the Yarkant River drainage area, Xinjiang, the authors analyze the sources of groundwater recharge according to the variations of D, ¹⁸O and T values in different regions and at different depths, solve the problem that is difficult to solve with the traditional research approach and provide a new idea for the study of the origin and spatial distribution of groundwater in arid areas. The results indicate that: (1) the groundwater is not derived from direct infiltration of precipitation but from seepage recharge of surface water; (2) there are two independent groundwater circulation systems which receive the waters of the Yarkant River and Tiznap River respectively; (3) the origins of phreatic water and confined water are the same, belonging to a unified groundwater system; and (4) in the sloping plain area the groundwater runoff is strong and groundwater movement is mostly horizontal, while in the fine soil plain area, the groundwater runoff is sluggish with vertical evaporative movement predominating and the runoff direction is closely related to the flow direction of surface water.

Key words: Yarkant River drainage area; environmental isotope; groundwater; water cycle

About the first author: WU Qian-qian, female, born in 1980, assistant specialist, master, her main research interest is environmental geology; E-mail: wqq912@126.com.