

doi: 10.12029/gc20160427

蔡月梅, 王文祥, 张明江, 等. 基于环境同位素分析吐鲁番盆地地下水流动系统[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1439–1445.

Cai Yuemei, Wang Wenxiang, Zhang Mingjiang, et al. An analysis of the groundwater flow system based on environmental isotopes in Turpan basin[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1439–1445(in Chinese with English abstract).

## 基于环境同位素分析吐鲁番盆地地下水流动系统

蔡月梅<sup>1</sup> 王文祥<sup>1</sup> 张明江<sup>2</sup> 殷秀兰<sup>3</sup> 蔡五田<sup>1</sup> 王瑞久<sup>3</sup> 李文鹏<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局  
第一水文工程地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830091; 3. 中国地质环境监测院, 北京 100037)

**摘要:**吐鲁番盆地是中国重要的煤炭基地之一, 研究盆地地下水流动系统对于区域水资源评价具有重要意义。通过在野外开展取样工作, 首先根据取样点井深的不同, 将所有样点分为 4 组, 结合当地水文地质条件、同位素值的高程效应以及取样点位置, 将同位素值以及位置相近的点归为同一个水流系统。经分析, 在火焰山以北存在一个相同型式的地下水流动系统, 而在火焰山以南随着山区坎尔其水库的修建, 水利设施的不完善和农业灌溉制度的改革, 存在多级地下水流动系统, 其形成条件主要受自然和人类活动影响。其中同位素和 TDS 值都较高的 T1 点曾是艾丁湖湖面的边缘, 当时湖水水位浅, 同位素蒸发效应明显。同时, 火焰山地下基岩存在缺口, 存在北盆地向南盆地的地下水补给。

**关键词:**吐鲁番盆地; 同位素; 地下水流动系统; 地表水

中图分类号: P641.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)04-1439-07

## An analysis of the groundwater flow system based on environmental isotopes in Turpan basin

CAI Yue-mei<sup>1</sup>, WANG Wen-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Ming-jiang<sup>2</sup>, YIN Xiu-lan<sup>3</sup>, CAI Wu-tian<sup>1</sup>,  
WANG Rui-jiu<sup>3</sup>, LI Wen-peng<sup>1</sup>

(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geological Survey, CGS, Baoding 071051, Hebei, China;

2. The First Hydrogeology Group of Xinjiang Geological Exploring Office, Urumqi 830091, Xinjiang, China; 3. China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Turpan basin is an important coal base in China, and studying the regional groundwater flow system is of great significance for regional water resources research. The well depths of the sampling points are mainly concentrated in more than 100 meters and less than 30 meters. All the samples can be divided into four groups based on the well depth, and in combination with the elevation effect of the isotope value and the locations of the sampling points, the nearby points are grouped into the same water system. An analysis shows that the north of the volcanic rocks belongs to the same type of groundwater flow system, while the water

收稿日期: 2015-07-16; 改回日期: 2016-01-04

基金项目: 新疆维吾尔自治区“358”项目(2010005)以及中国地质调查局项目(水[2014]02-007-005)联合资助。

作者简介: 蔡月梅, 女, 1985年生, 工程师, 硕士生, 从事水文地球化学和地下水污染调查评价工作; E-mail: cz-cai-yuemei@163.com。

system in the south of the volcanic rock exhibits features of multistage flow system because of the reservoir building, the continuous improvement of the water conservancy facilities and the reformation of agricultural irrigation system; its forming condition is mainly influenced by natural and human activities. The isotope and TDS values of T1 point are higher, so it might have been the edge of the Aydingkol Lake, and the lake water level was shallow and isotope evaporation effect was obvious at that time. At the same time, loopholes were existent in the bedrock, the groundwater could flow from the north to the south of the basin.

**Key words:** Turpan basin; isotope; flow system; surface water

**About the first author:** CAI Yue- mei, female, born in 1985, engineer, master, engages in hydrogeochemical and groundwater pollution survey; E-mail: cz-cai-yuemei@163.com.

**Fund support:** Supported by the "358" Project of Xinjiang and China Geological Survey Project (water [2014] 02-007-007).

## 1 地质背景

吐鲁番盆地总的地形特征是北高南低,由西向东倾斜;四周高,中心低,基本上依环带状递减<sup>[1]</sup>。吐鲁番盆地北部为博格达山,南部为觉罗塔格山,中部为盐山—火焰山,形成三山夹两盆的形式。南盆地大部分地区高程低于海拔0 m以下,其中艾丁湖为最低点,海拔-154.31 m。

应用同位素方法解决水文地质问题的基本原理是以大气输入同位素的特征作为输入函数,通过同位素特征的变化,识别地下水系统的各种信息。环境同位素能应用于地下水的起源、补给、水力联系等方面的研究,可以说,用同位素解决某些水文地质问题是一种有效的方法。关于同位素方法应用于地下水流动系统问题,前人已开展了许多研究。Ian et al.用水化学和同位素方法研究了澳大利亚 Murray 盆地河水向地下淡水透镜体补给的问题<sup>[2]</sup>; James M. et al.人用水化学和同位素方法研究了美国死亡谷地下水的补给来源、流动路径问题<sup>[3]</sup>; 陈宗宇等采用稳定同位素方法识别了松嫩平原的地下水流动系统模式<sup>[4]</sup>; 武倩倩等利用环境同位素方法分析了叶尔羌河流域地下水的补给来源,并划分了地下水流动系统<sup>[5]</sup>。

目前,在吐鲁番盆地开展的同位素研究工作还很少。郝爱兵<sup>[6]</sup>在其硕士论文中分析了吐鲁番盆地东部地下水水化学、环境同位素特征以及水资源开发利用规划方案; 1994年成都理工大学利用氢氧稳定同位素对研究区内地表水和地下水的转化关系进行了论述并建立了地下水系统的概念模型。本文在前人研究的基础上,利用稳定同位素的高程效应,结合研究区内水文地质条件,对吐鲁番盆地地下水流动系统进行初步划分。该区地下水补给来源

主要是山区降水,经地表汇集后补给到平原区,艾丁湖为最低点,是研究区水资源的蒸发排泄点,地下水的补径排条件具有规律性,所以,稳定同位素值相近,取样位置也相近的水点可认为其具有相同的补给来源,可归为同一水流系统。南北盆地由于受人类活动干扰程度不同,水流系统型式存在差异。

## 2 数据与研究方法

本次研究共采集同位素样品55组,其取样点位置图见图1。采样的原则是区域上控制,水文地质边界进行加密取样。样品由中国地质科学院矿产资源研究所质谱253测试完成,包括 $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ ,其测试精度分别为0.1%和0.025%,数据分别见表1、表2、表3。

本次大部分采样点的井深为小于30 m以及大于100 m。在分析过程中,根据各个采样点的井深,将所有样点分为3组:泉水和地表水,埋深0~30 m的地下水和埋深100 m以下的地下水。一般情况下,可以认为埋深0~30 m的水受现在的人为渠道灌溉补给和农耕活动影响;埋深100 m以下地下水为自然状态下的补给,径流排泄状态基本不受现今人类活动和水渠灌溉等的影响。

研究区的 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图上,我们标出2条大气水线作为对比线:

$$\delta D = \delta^{18}O + 10 \quad (2.1)$$

$$\delta D = \delta^{18}O + 15 \quad (2.2)$$

其中(2.1)式为全球大气水线;(2.2)式是北疆已有研究的大气水线<sup>[7-8]</sup>。

## 3 同位素数据分析

### 3.1 井深大于100 m的地下水样点分析

该层地下水为不受现今人工渠系影响的地下

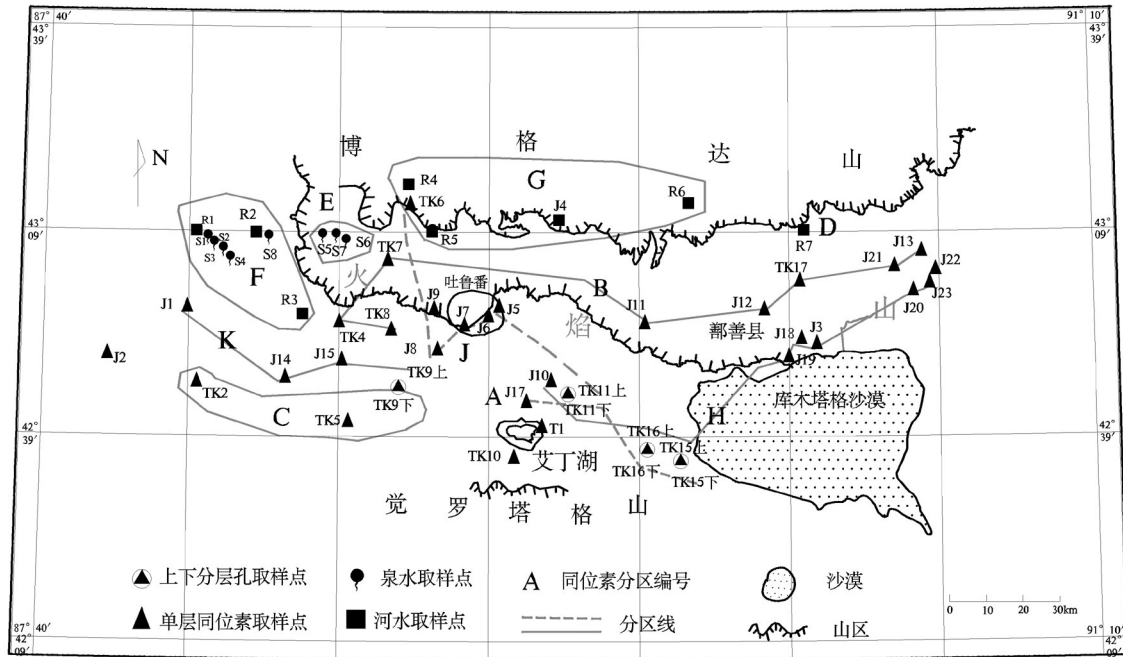


图1 吐鲁番盆地同位素取样点位置图  
Fig.1 The isotope sampling sites in Trupan basin

表1 井深大于100 m 样点的稳定同位素数据(‰, V-SMOW)  
Table 1 The isotope data of samples with well depth more than 100 meters (‰, V-SMOW)

样品编号	井深/m	$\delta D$	$\delta^{18}O$	样品编号	井深/m	$\delta D$	$\delta^{18}O$
TK5	135	-56.0	-8.0	TK2	145	-56.0	-8.5
TK9下	150	-55.0	-8.7	J11	170	-71.0	-10.0
TK15下	110	-81.0	-11.5	TK4	158	-72.0	-10.2
TK16下	180	-81.0	-10.7	TK8	105	-72.0	-10.8
TK11下	120	-77.0	-10.8	TK17	235	-75.0	-11.1
J17	120	-81.0	-11.2	TK7	300	-74.0	-10.2
J13	310	-74.0	-10.5	J16	140	-65.0	-8.8
J21	310	-77.0	-10.1				

水,处于天然条件下。结合 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系及相关点的位置分布,我们可将100 m以下地下水样点分为3组(图2):第一组(A域):TK11下、TK15下、J17、TK16下,这些样点的 $\delta^{18}O$ 同位素值位于 $-10.5\text{‰}\sim-11.5\text{‰}$ ,地理位置位于火焰山南边东侧区域。

第二组(B域):TK8、TK17、J11、TK4、J13、TK7、J21,样点的 $\delta^{18}O$ 同位素值位于 $-10.0\text{‰}\sim-11.5\text{‰}$ ,地理位置上,除TK4、TK8外,其余样点均位于火焰山的北侧,TK4、TK8样点位于火焰山的南侧,加上同位素较为详尽,说明在TK4、TK8位置的地下基岩有

缺口,地下水可以从北侧渗向南侧。

第三组(C域):TK9下、TK2、TK5,样点的 $\delta^{18}O$ 同位素值位于 $-8.0\text{‰}\sim-9.0\text{‰}$ ,与A、B组相差较大,地理位置上位于火焰山南边西侧阿拉沟水系,与A、B组相距较远,说明与A、B组为不同的地下水流动系统。

由于这3组样点埋深较大,所以可以认为这3组水样分别代表了基本不受现今渠系影响的自然条件下的三股水流系统。

### 3.2 河水和泉水样点分析

$\delta D-\delta^{18}O$ 关系见图3,其分布见图1。从图3中

表2 地表水和泉水的稳定同位素数据(‰, V-SMOW)  
Table 2 The isotope data of spring and surface water samples (‰, V-SMOW)

样品编号	类型	$\delta D$	$\delta^{18}O$	样品编号	类型	$\delta D$	$\delta^{18}O$
J4	河水	-56.0	-8.7	S3	泉水	-63.0	-9.0
R6	河水	-58.0	-9.4	S4	泉水	-61.0	-8.9
R5	河水	-59.0	-9.5	S5	泉水	-70.0	-10.3
R1	河水	-64.0	-8.9	S6	泉水	-68.0	-10.0
R3	河水	-64.0	-9.4	S7	泉水	-71.0	-10.0
R2	河水	-67.0	-9.1	S1	泉水	-63.0	-9.3
R7	河水	-78.0	-11.3	S2	泉水	-61.0	-9.3
R4	河水	-58.0	-9.4	S8	泉水	-63.0	-9.4

表3 井深0~30 m样点的稳定同位素数据(‰, V-SMOW)  
Table 3 The isotope data of samples with well depth 0~30 meters (‰, V-SMOW)

样品编号	井深/m	$\delta D$	$\delta^{18}O$	样品编号	井深/m	$\delta D$	$\delta^{18}O$
TK9上	3	-55.0	-8.4	J3	19	-85.0	-10.9
TK15上	15	-84.0	-11.2	J23	29	-71.0	-10.3
TK16上	8	-78.0	-10.7	J18	19	-82.0	-10.8
TK11上	19	-67.0	-9.9	J19	3	-76.0	-10.5
J6	20	-67.0	-10.0	J20	27	-77.0	-10.5
J7	11	-72.0	-10.0	J1	7	-62.0	-8.9
J8	7	-69.0	-10.0	TK6	17	-65.0	-9.6
J9	16	-64.0	-9.8	J14	15	-58.0	-8.6
J10	10	-81.0	-10.9	J15	13	-66.0	-8.5
T1	2	7.0	6.9				

可看出,根据同位素值及取样点位置可将该组水样分成四组,分别标记以D、E、F、G域。E域的3个样点S5、S6和S7为地表出露的泉水,结合图2和图3,这3个样点的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 值与100 m以下B域样品中的值相近,从位置上讲,这3个样点位于火焰山的北侧,属于火焰山北侧冲积扇对地下水的补给,基本上与100 m以下火焰山北侧溢出带的水(B域)相似,因此这3个样点与100 m以下B组的样品代表了自然条件下火焰山北侧地下水的排泄;F域中泉水和河水的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 值比较接近,基本上处于同一个流域,均位于火焰山的南侧(图1),属山前冲积扇地区的前缘,与S5、S6和S7相隔一个分水岭,因此F域样品处于火焰山南侧盆地西北部水流系统中,在

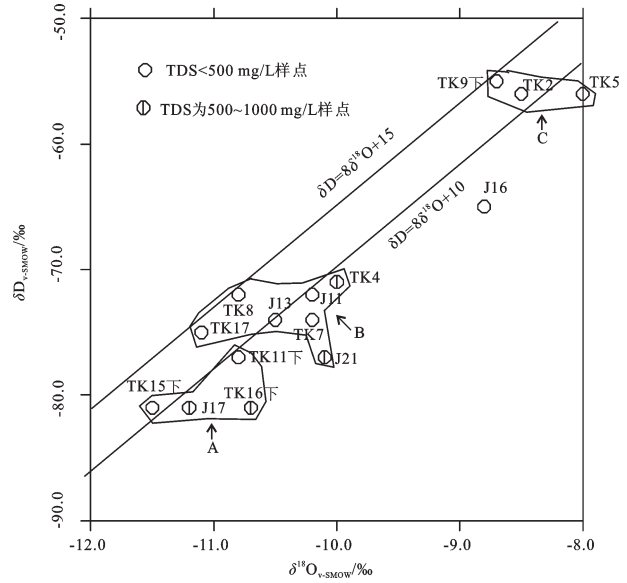


图2 100 m以下地下水样点的 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图  
Fig.2 The relationship between  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  with well depth more than 100 meters

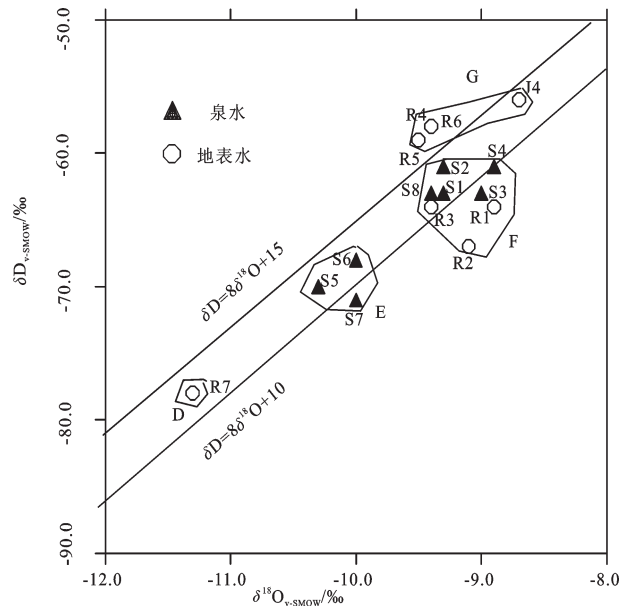


图3 地表水和泉水取样点 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图  
Fig.3 The relationship between  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  of spring and surface water samples

这一组样品中河水和泉水的同位素值相似,反映出泉水对河水的补给。在图1上,不难看出,在博格达山麓有河水样点R4、R5、R6和J4(G域),其代表了现今条件下河水的分布范围。河水样点R7的



$\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  值偏向低值(D域),和G域差异比较大,代表了河水同位素值的变化范围,具体原因不明。

### 3.3 井深0~30 m地下水样点分析

图4为0~30 m地下水的 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图,根据同位素值以及相关点的位置分布,可将其分为3组:第一组(H域)为同位素值最低的区域:J23、J19、J20、TK16上、J10、J18、TK15上、J3,样点位于南盆地的东侧;第二组(J域)为同位素的中间值:J9、TK6、J6、TK11上、J8、J7,样点位于盆地的中间区域,相当于吐鲁番市区中心部位;第三组(K域)为TK9上、J14、J1、J15,样点位于南盆地的西侧;这3组样点的分布见图1。

将H域样品划分为I区和II区,结合图2, I区样点的D、 $^{18}O$ 值与100 m以下火焰山南侧东边区域(A域)样品的D、 $^{18}O$ 值重合,结合图1,两组样点的位置分布也处在同一区域中,说明它们具有相同的补给源;而II区样点的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 值与100 m以下火焰山北侧(B域)样品的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 值处于相同的范围,两组样品都位于火焰山北侧区域,如J20和J23,说明II区地下水来自于溢出的深部泉水,其中J19具体情况不明。因此,埋深0~30 m地下水的东边水系(H域)有2部分组成,一部分(I区)与100 m以下南盆地东侧水系为同一补给源,还有一部分(II区)地下水来源于北盆地溢出泉水的补给。同理,将埋深0~30 m西边水系(K域)的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 值及其位置划分为I区和II区,其中I区样点TK9上和J14与100 m以下地下水中火焰山南侧阿拉沟水系(C域)相似,说明该区样品(K域I区)与自然条件下的阿拉沟水系属同一补给源;II区样品J1和J15与火焰山南侧西北部水流系统(F域)相似,因此可将该区(K域II区)与F域样点归为一个水系。

结合图2、图3和图4,会发现0~30 m地下水中J域样品的 $\delta^{18}O$ 值的范围为-9.6‰~-10.0‰,  $\delta D$ 的范围为-72.0‰~-64.0‰,而在100 m以下地下水的图谱中,该 $\delta^{18}O$ 和 $\delta D$ 值范围内均没有对应的样点分布,该值介于火焰山北侧出露的泉水与火焰山北侧分布的河水之间,说明J域样品主要受到来自火焰山北部引水的影响,接受不同灌溉渠系水的补给。而灌溉渠系引水来自火焰山北侧河水、地下水和溢出的泉水,引水水源的多样化和交替,导致入渗补给水是多种水源混合水。在图1, J组样品恰好

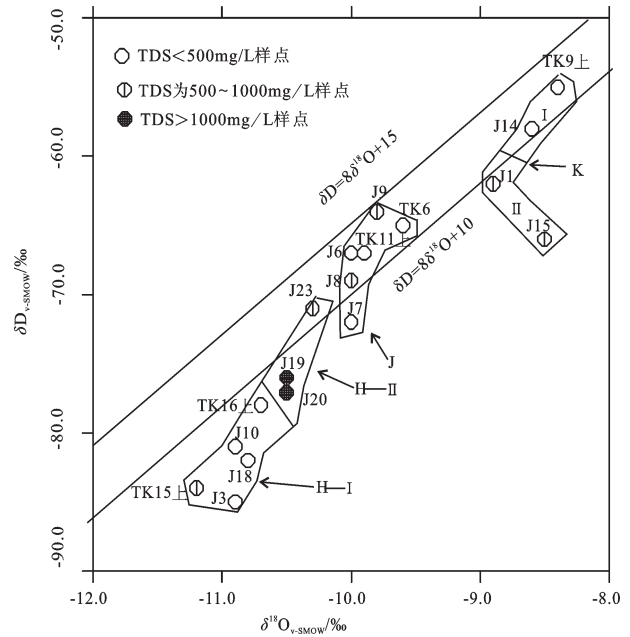


图4 0~30 m地下水样点的 $\delta D$ - $\delta^{18}O$ 关系图  
Fig.4 The relationship between D and  $^{18}O$  with well depth 0-30 meters

位于吐鲁番市的中心地区,说明了人类活动引水灌溉改变了地下水的天然状态。

值得一提的是T1点, T1点TDS(27885.2 mg/L)值非常高,  $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 值很高( $\delta D=7\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O=6.9\text{‰}$ ),且明显位于大气降水线下方,说明水体在入渗地下前经历过敞开水面的强烈蒸发,推测当时湖水水位浅,由于受到强烈的蒸发作用,同位素蒸发效应明显<sup>[9-10]</sup>。同时,这也说明样点T1的位置可能曾是艾丁湖湖面的边缘<sup>[11]</sup>。

### 3.4 吐鲁番盆地地下水流动系统分析

通过以上对水样的分析,吐鲁番盆地地下水系统的划分可简单用图5表示。

100 m以下的地下水分成自然状态下的3股水流系统(图2),即来自不同补给系统补给的埋深100 m以下的3个地下水流系统<sup>[12-13]</sup>。火焰山北侧的水流系统的形成过程为:山上的降水和冰雪水融化,沿山坡向下游流动,同时不断入渗补给地下水,而地下水在火焰山北侧受基岩阻水而溢出,形成许多泉流。在火焰山西延位置至少存在2个缺口,火焰山北侧地下水可渗流到火焰山南侧,也就是TK4、TK8的位置,所以这两个点位虽在火焰山南

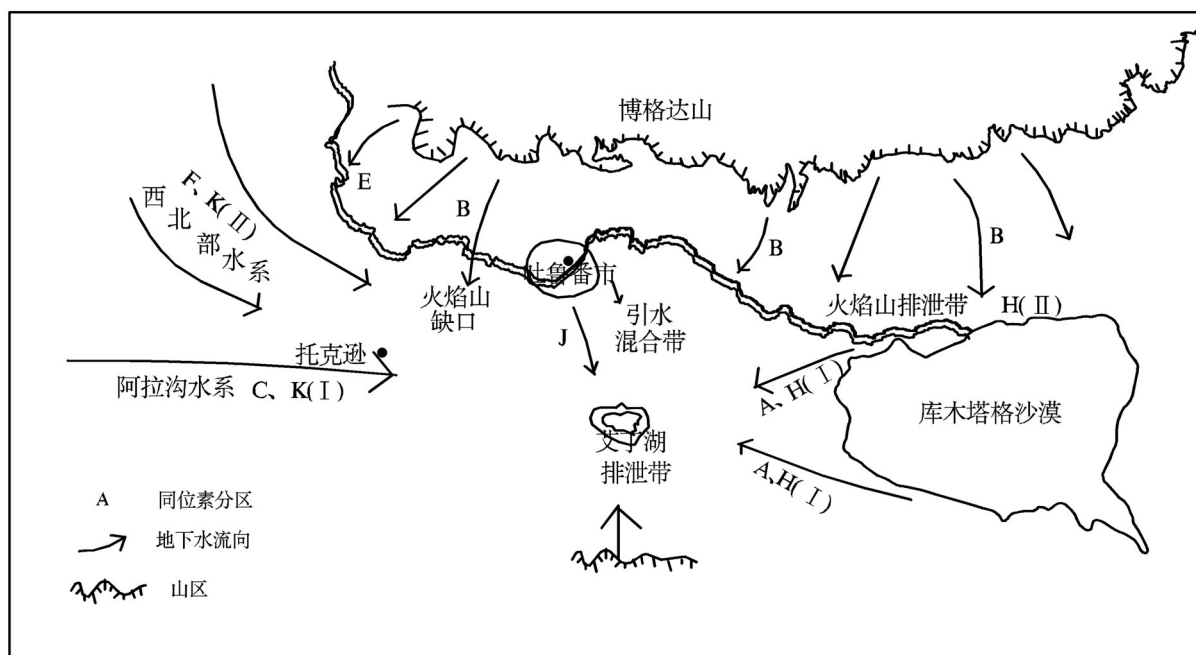


图5 吐鲁番盆地地下水型式示意图

Fig.5 The diagram of groundwater types in Turpan Basin

侧,但其地下水属火焰山北侧的水流系统。另外在火焰山南侧还存在二股地下水系统,分别位于A域以及C域(图2)。

对于泉水和河水,根据同位素值和样点位置分布(图1和图3),可将其分为3个水系。E域的泉水与100 m以下火焰山北侧的B域水属于同一地下水系统;F域样品中有泉水和河水,两者的同位素值与位置相似,说明取样点处于同一个流域系统;G域和R域样品为现今条件下的河水分布范围。

0~30 m地下水样品中,根据同位素值及位置分布,H域I区、H域II区和K域I区样品分别与自然条件下100 m以下地下水系统的A域、B域和C域属于同一补给来源,其同位素值和样点位置都是相近的,即这3股水系的浅层水(0~30 m)和深层水(100 m以下)的同位素值相同。埋深0~30 m地下水的K域II区和埋深0 m的泉水和河水样品中F域相近,它们都处在同一个流域的水系中,但是地下水循环深度不明。

J组在100 m以下地下水系统中找不到相对应的补给来源,而该组水样恰好处在吐鲁番市中心地区,人类活动强烈,灌溉渠系密集交叉,由于引水水源的交替,形成一种新的混合水水源(J域),相当

B域和G域之间水体的混合,表示了人类活动对地下水的影响。

在该层地下水中T1的同位素和TDS都显示高值,这是敞开水面的强烈蒸发作用引起的<sup>[14]</sup>。

## 4 结论

综上所述,吐鲁番盆地地下水系统的划分如下:

(1)火焰山以北存在相同型式的地下水径流系统,其形成过程为:山上的降水和冰雪水融化,出山口沿河道向下游流动,同时不断入渗补给地下水,地下水在火焰山北侧受基岩阻水而溢出,形成许多泉流和绿洲,仅在局部基岩缺口处,水流可进入火焰山南侧盆地。

(2)火焰山以南存在多股水流系统,按其形成条件可分为2大类:

①在自然条件下,东西两侧地下水向艾丁湖排泄,同时,南侧也有水流畅向艾丁湖排泄;②由于人们居住和活动集中在吐鲁番市,其用水量大,需要多种水源协调引水,包括河水、地下水以及溢出的泉水,因此在吐鲁番市形成了因引水导致的混合水入渗,并向艾丁湖排泄。

(3)在人为活动集中地区——吐鲁番市中心地带,扰乱了自然状态下的补给过程。引水工程跨越火焰山的阻隔,引水渠道交叉联接,改变了自然河道的固定水源。农耕活动增强了土壤层的蒸发,通过灌溉又加快了水体的入渗,使地下水垂向交替加强。综合以上因素,吐鲁番市中心地带的地下水正在脱离自然动态。

### 参考文献(References):

- [1] 胡卫忠. 吐鲁番盆地水资源开发与水环境保护[J]. 地质灾害与环境保护, 1998, 9(2): 27-32.  
Hu Weizhong. Water resources and environmental protection in Turpan Basin[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1998, 9(2): 27-32(in Chinese with English abstract).
- [2] Ian Cartwright, Tamie R Weaver, Craig T Simmons, et al. Physical hydrogeology and environmental isotopes to constrain the age, origins, and stability of a low-salinity groundwater lens formed by periodic river recharge Murray Basin, Australia[J]. Journal of Hydrology, 2010, 380(1/2): 203-221.
- [3] James M Thomas, Duane P Moser, Jenny C Fisher, et al. Using water chemistry, isotopes and microbiology to evaluate groundwater sources, flow paths and geochemical reactions in the Death Valley Flow System, USA[J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2013, 7: 842-845.
- [4] 陈宗宇, 刘君, 杨湘奎, 等. 松嫩平原地下水流动模式的环境同位素标记[J]. 地学前缘, 2010, 17(6): 94-101.  
Chen Zongyu, Liu Jun, Yang Xiangkui, et al. The environmental isotope markers of groundwater flow patterns of the Song-Nen Plain[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(6): 94-101(in Chinese with English abstract).
- [5] 武倩倩, 任加国, 许模. 新疆叶尔羌河流域地下水同位素特征及其补给来源分析[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 331-336.  
Wu Qianqian, Ren Jianguo, Xu Mo. Isotope features and supply sources of groundwater in the Yarkant River drainage area, Xinjiang[J]. Geology in China, 2008, 35(2): 331-336(in Chinese with English abstract).
- [6] 郝爱兵. 吐鲁番盆地东部地下水运动特征及水资源开发利用规划研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 1993.  
Hao Aibing. The Research of Groundwater Movement and the Exploitation and Utilization Planning of Water Resources in the East of Turpan Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 1993(in Chinese).
- [7] 李亚民, 王英男, 徐旭, 等. 奎屯河流域南洼地地下水补给特征分析[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(4): 31-33.  
Li Yamin, Wang Yingnan, Xu Xu, et al. Characteristics of groundwater recharge of Nanwadi in Kuitun River Basin[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 35(4): 31-33(in Chinese with English abstract).
- [8] 殷秀兰, 李文鹏, 王俊桃, 等. 新疆柴窝堡盆地地下水化学及稳定同位素研究[J]. 地质学报, 2010, 84(3): 439-448.  
Yin Xiulan, Li Wenpeng, Wang Juntao, et al. Hydro-chemical and isotopic research in Chaiwopu Basin, Urumqi River catchment[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(3): 439-448(in Chinese with English abstract).
- [9] Freeze R A, Cherry J A. Ground Water[M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1979: 269-273.
- [10] Todd D K, Mays L W. Groundwater Hydrology[M]. America John Wiley & Sons, Inc., 2005: 589.
- [11] 王永兴, 李新. 吐鲁番盆地水资源持续利用研究[J]. 干旱期资源与环境, 1997, 11(3): 9-14.  
Wang Yongxing, Li Xin. Studies on sustainable utilization of water resources in the Turpan Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1997, 11(3): 9-14(in Chinese with English abstract).
- [12] 王瑞久. 水文地质学的概念模型[J]. 水文地质工程地质, 1985, 12(4): 25-28.  
Wang Ruijiu. Conceptual hydrogeological model[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1985, 12(4): 25-28(in Chinese with English abstract).
- [13] 李文鹏, 焦培新, 赵忠贤. 塔克拉玛干沙漠腹地地下水化学及环境同位素水文地质研究[J]. 水文地质工程地质, 1995, (4): 22-24.  
Li Wenpeng, Jiao Peixin, Zhao Zhongxian. The hydrology geological research of groundwater chemical and environmental isotope in the hinterland of Taklamakan desert[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1995, (4): 22-24(in Chinese with English abstract).
- [14] Edmunds W M. Contribution of isotopic and nuclear tracers to study of groundwaters//Aggarwal P K, Gat J R, Froehlich K F O, (eds.). Isotopes in the Water Cycle: Past, Present and Future of a Developing Science. IEA, Netherland, 2005: 171-192.