http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

新疆柴窝堡盆地地下水化学及稳定同位素研究

殷秀兰[1)],李文鹏[1)],王俊桃[1)],朱瑾[2)],姜越[2)],霍传英[2)],李宁[1)],徐紫城[1)]

1) 中国地质环境监测院,北京,100081; 2) 新疆维吾尔自治区地质环境监测总站,乌鲁木齐,830091

内容提要:地下水是维持乌鲁木齐河流域社会经济发展和生态系统的最重要的水源,尤其是柴窝堡盆地因大量开采使得地下水水位下降、湖面萎缩,地下水系统动态特征发生了变化,所以研究区内地下水水流系统及其补径排关系对于深入研究盆地地下水流系统特征和合理开发利用地下水水资源能够提供重要的基础资料,尤其是对调整地下水资源的开采布局具有现实意义。本次研究主要以地质、水文地质背景资料为基础,结合地下水补给环境的差异,利用水化学和水的稳定同位素进行示踪研究,确定了柴窝堡盆地地下水的补给来源和排泄途径,区分出盆地排泄带不同点的补给区,包括东山、南山和西山补给区,对同一补给区又细分出不同的水流系统。

关键词:水化学分析;δD和$\delta^{18}O$同位素;柴窝堡盆地;冲积扇

柴窝堡盆地位于新疆维吾尔自治区天山北麓乌鲁木齐河流域内,面积约2880km^2。盆地四周群山围绕,北部为博格达山(简称东山),南部为依林哈比尔尕山(简称南山)(图1)。柴窝堡盆地中心最低点1072m(位于大盐湖南侧),自柴窝堡湖向东南形成一条洼地带(相当于1100m等高线)。

对柴窝堡盆地的地下水水化学和同位素研究已有工作基础,包括从60年代起的地下水水质监测工作,以及新疆地矿局第一水文地质队、新疆地质环境监测院、原长春地质学院水工系等对乌鲁木齐市、西山地区以及柴窝堡盆地的地下水主要化学组分和同位素进行的研究工作,这些工作主要配合水源地勘察和污染源调查开展。本次研究主要在盆地内部根据水化学和环境同位素样品数据,尽可能结合前人的数据,采用示踪方法(Edmunds,2001),在综合分析的基础上,讨论了盆地中冲洪积扇和排泄带地下水的补给过程。

1 柴窝堡盆地水文地质概况

柴窝堡盆地是中、新生代形成的断陷盆地,盆地下伏的基岩表面以柴窝堡—乌拉泊隐伏断裂为界,南山为第三系泥岩构成隔水底板,东山为石炭-二叠系的凝灰岩、砂岩❶。盆地内充填第四系沉积物,包括卵石、砾石、砂砾和砂、砂和亚粘土等。南山山前多为陡倾的冲积扇、东山山前多缓倾的冲积物(图1)。从南北两侧山体向盆地中央倾斜(相当地形等高线<1200m),沉积物颗粒由粗变细。在两山之间盆地中央形成一条西北—东南向的低洼地带,基本上和柴窝堡-乌拉泊隐伏断裂走向一致。

柴窝堡盆地内多年平均气温为6.5℃,多年平均降水量为248.8mm,多年平均蒸发量为2607.3mm。盆地周边分布16条沟谷河流,年径流量为$3.7\times10^8m^3$❷。这些沟谷河流主要接受山区大气降水、冰雪融水及基岩裂隙水的补给,出山口后除部分被渠系引走用于农业灌溉外,大部分渗入补给地下水,是地下水的主要补给源。

2 样品的采集及分析结果

本次在柴窝堡盆地共采集水化学和同位素样品34组。主要分布在柴窝堡湖、大小盐湖、乌鲁木齐河流域的青年渠以及乌拉泊水库等(图2)。其中湖水和水库水样品共6组、河水样4组、地下水样24组。

水化学样品送新疆第一水文地质工程地质大队实验测试中心进行分析,稳定同位素样品送中国地质科学院地质矿产资源研究所同位素实验室分析。样品分析结果见表1。此外还收集了地下水数据13组、柴窝堡湖4组、白杨树河3组、乌鲁木齐河(青年渠和冰川源头)6组。

注:本文为中国-荷兰合作项目"中国地下水信息中心能力建设"资助的成果。

收稿日期:2009-02-09;改回日期:2009-08-20;责任编辑:郝梓国。

作者简介:殷秀兰,女,1968年生。博士。主要研究方向为盆地流体及水化学。通讯地址:100081,北京海淀区大慧寺20号;电话:010-62175955;Email: yinxl@mail.cigem.gov.cn。

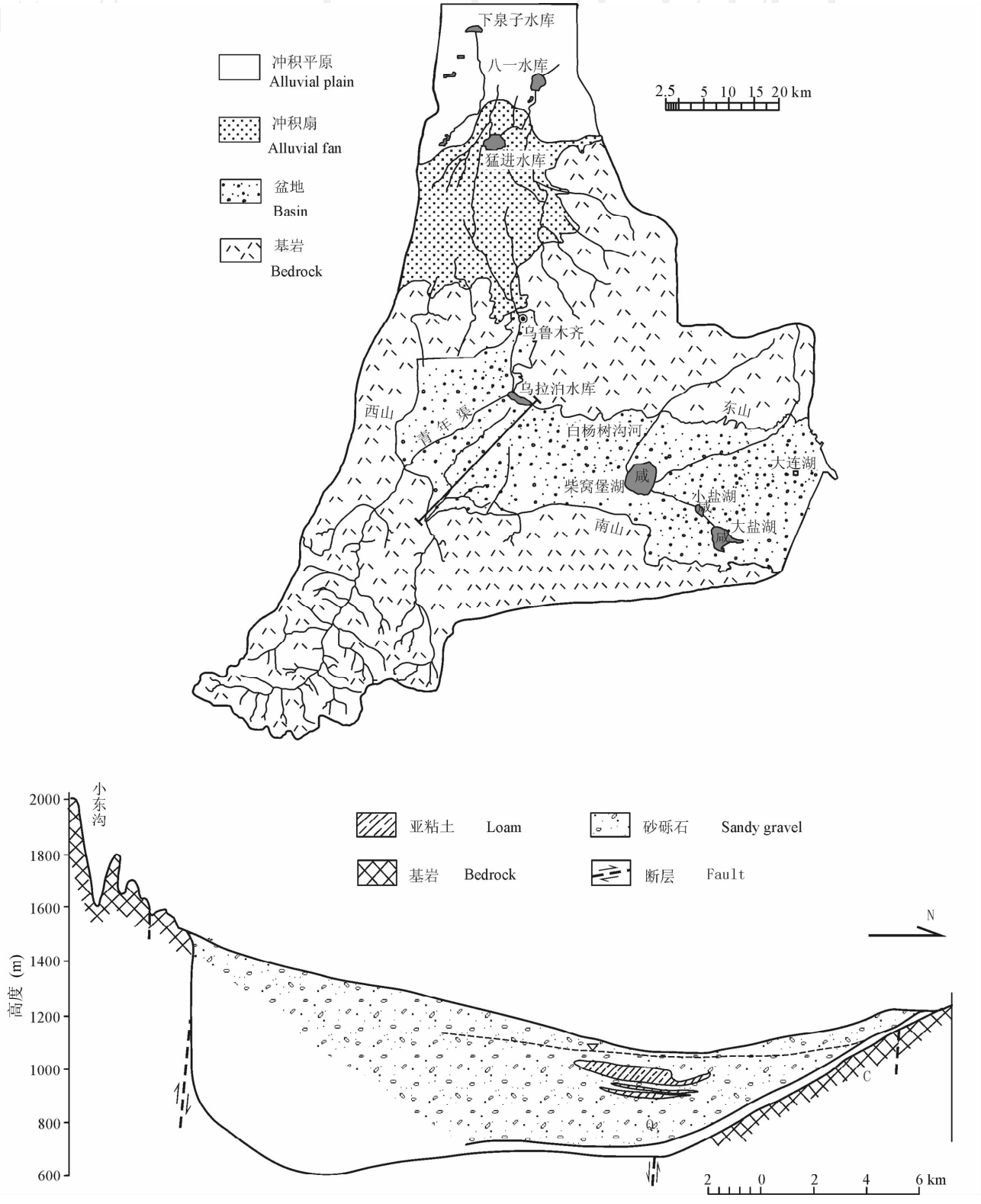


图 1 乌鲁木齐河流域柴窝堡盆地位置及水文地质剖面图

Fig. 1 Location and hydrogeological section of Chaiwopu Basin, Ürümuqi River Catchment

3 地表水样品分析

地表水样品包括河水和湖泊(水库)水。河流样品取自乌鲁木齐河流域(包括上大西沟、青年渠、青年渠首河段)和白杨树河。湖泊样品取自柴窝堡湖、大盐湖和乌拉泊水库。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

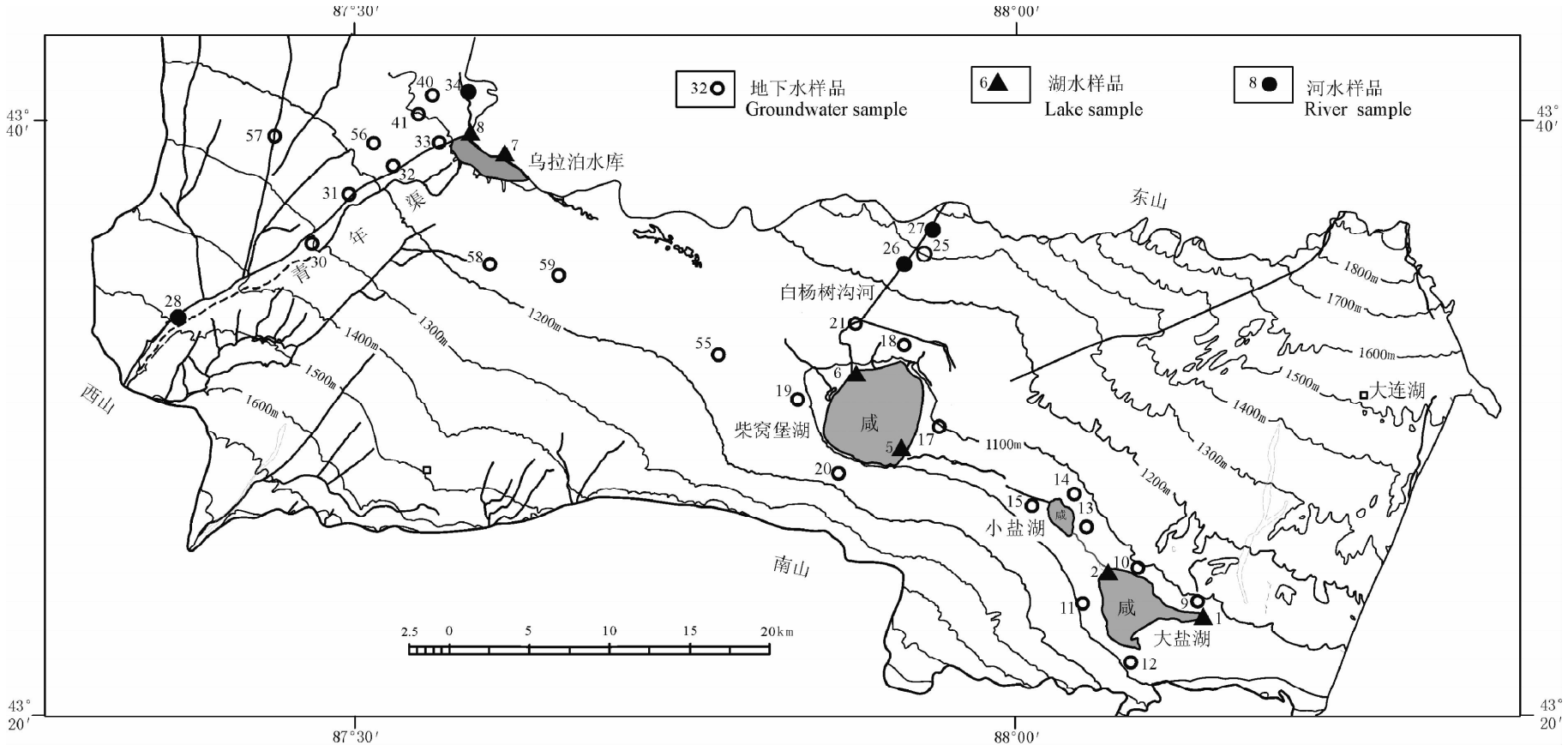


图 2　新疆乌鲁木齐河流域柴窝堡盆地水化学同位素取样位置图

Fig. 2　Sampling locations for hydrochemistry and isotope in Chaiwopu Basin, Urumuqi River Catchment

表 1　新疆乌鲁木齐河柴窝堡盆地样品分析结果

Table 1　Analysis results of samples in Chaiwopu Basin, Urumuqi River Catchment

http://www.geochina.cn/ch/index.aspx

类型	编号	位置	取样时间	井深 (m)	pH (现场)	T (℃)	TDS (mg/L)	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	H_2SiO_3	$\delta D‰$	$\delta^{18}O‰$
								mg/L										
湖水	1	大盐湖东南侧	08.6.24		7.7		375789.5	1731.6	125442.1	120.4	6002.1	177250	64840.5	787.2	1.2	8.1	−24	2.50
	2	大盐湖西北侧	08.6.24		8.42		57347.6	117.3	20365.2	154.3	324.4	19993.8	16253.4	198.3	0.9	18.5	−63	−8.30
	5	柴卧堡湖东南湖水	08.6.23		8.88		4475.2	28	1367.9	51.3	89.9	744.4	1909.7	413.7	4.9	16	−42	−6.70
	6	柴卧堡湖贝西岸湖水	08.6.23		8.85		4089.2	25.1	1256.2	46.1	79	705.5	1709.9	389.3	0.2	16.2	−40	−5.90
	7	乌拉泊水库南东地表水	08.6.23		8.26		406.4	2.2	51.9	64.1	12.6	45.4	146	140.3	4.5	9.2	−66	−9.20
	8	乌拉泊水库西北地表水	08.6.23		8.28		308.4	2.8	31.2	60.1	8.5	30.1	86.5	147.7	5.9	9.1	−70	−9.40
河水	26	白杨河地表水	08.6.25		8.42	21.7	177.8	0.5	9.6	43.3	5.3	7.1	25.9	136.7	1.2	11.7	−65	−9.90
	27	白杨河地表水	08.6.25		8.08	18.1	186	0.5	11.1	43.3	6.6	7.8	28.8	149.5	1.4	11.5	−66	−10.10
	28	乌鲁木齐河地表水	08.6.25		8	13.8	186.2	1.4	12.4	47.3	7.8	8.9	31.2	126.9	5.1	8.4	−55	−8.70
	34	乌拉泊管理站青年渠首	08.6.20		8.18	17.6	689.4	1.8	128	79.4	18	74.4	259.4	227.6	3.8	9.9	−70	−9.50
地下水	9	大盐湖岸东盐湖电工厂	08.6.24	100	8.1	13.7	1026.4	1.7	151.7	157.1	21.4	205.6	353.5	178.2	22.2	23.8	−73	−10.9
	10	大盐湖东南侧	08.6.24	100	7.68	13.2	490.6	1	47.6	88.2	17	76.2	151.8	164.8	3.7	22.5	−75	−11.1
	11	大盐湖岸西	08.6.24	150	7.95	12.5	635.1	1.4	86.4	100.2	15.8	82.2	211.3	213.6	6.3	24.5	−74	−10.9
	12	大盐湖岸南	08.6.24	100	8.15	14	423.3	1	80.2	55.3	5.8	70.2	115.3	134.2	5.3	22.9	−70	−11.1
	13	小盐湖岸东	08.6.25	100	8.1	12.6	165.4	0.6	18.2	28.1	5.3	24.8	30.7	76.3	1.7	17.6	−78	−11.8
	14	小盐湖岸北	08.6.25	150	7.9	12.4	201.2	1	23.8	36.1	4.4	39	39.4	74.4	4.2	15.9	−81	−11.6
	15	小盐湖岸西	08.6.25	100	7.95	12.6	229	0.7	11.3	52.1	6.8	40.8	65.3	67.1	3.1	15.3	−80	−11.6
	17	104 团 10 连	08.6.23	100	8.02	11	295.6	0.8	16	63.3	9.7	38.3	111.4	67.1	5.5	16.9	−77	−11.5
	18	柴窝菩林场开采井	08.6.23	150	8.1	13.1	156.4	0.6	19.9	24	4.9	9.6	30.7	91.5	3.8	16.9	−75	−11.2
	19	柴窝堡湖西岸喀拉房子	08.6.23	150	8.21	11.5	351	1.6	66.7	40.9	9.2	19.5	78.8	218.5	5.6	19	−87	−12.1
	20	柴卧堡湖南西机井	08.6.23	150	8.15	12.5	354.8	1.6	72.1	40.1	7.8	19.5	74	234.9	3.2	18.6	−91	−13.2
	21	柴卧堡湖北第六水源地	08.6.23	75	8.2	12.6	339.8	1.2	77.2	30.1	6.6	28.4	90.3	163.5	4.2	421.5	−75	−11.4
	25	柴卧堡白杨沟	08.7.1	115.7	7.65	15.1	201.1	1	13	42.1	6.1	14.9	52.8	106.8	4.2	12.8	−78	−11
	30	市种畜场 1 大队 1 队	08.6.26	250	7.88	11.5	293.5	1.6	21.4	61.3	8.5	12.4	84.5	152.6	16.7	10.6	−70	−10
	31	市种畜场 1 大队 2 队	08.6.26	150	7.9	11.9	328.2	1.6	21.5	70.1	10.9	23	107.6	140.3	13.8	9.4	−63	−9.9
	32	大东沟水源地	08.6.20	100	8.08	10.6	346.4	2.2	37.4	66.1	8	21.3	111.4	153.8	12.4	10.5	−61	−10
	33	乌拉泊机动车驾驶员试场	08.6.19	100	7.98	24.1	246	1.6	19.1	54.1	6.6	17	67.2	123.3	6.8	11.2	−61	−9.9
	40	乌拉泊成功砂厂	08.6.20	54	8.08	10.8	371.2	1.9	33.8	74.1	9.7	35.4	120.1	149.5	9.5	11.7	−69	−10.2
	41	乌拉泊新光公司砂厂	08.6.20	100	7.9	11.7	1005.4	3.8	64.7	216	28.2	159.5	432.3	140.3	18.3	12.3	−69	−10.1
	55	柴卧堡第七水源地	08.6.23	150	8.2	14.8	326.9	1.8	61.8	40.1	7.5	16	68.2	216.6	3.5	19.4	−83	−12.2
	56	乌市乌拉泊甘河子水源地	08.6.19	100	8.02	13.2	272	1.7	22.8	56.1	7.3	17.7	74	140.3	11.4	10.6	−65	−10
	57	西山水源地	08.6.18	170	8.1	12.2	690	3	139.2	68.9	11.7	36.2	294.9	212.3	16.5	13.2	−68	−10.2
	58	乌市草原站机井	08.6.19	180	8.05	10.3	226.8	1.2	18.6	46.1	6.6	14.2	50	135.5	6	16.1	−64	−10.5
	59	乌县托里乡乌拉泊村机井	08.6.19	60	8	12.3	1371.4	2.4	205	205.2	36	354.5	456.3	141.6	25	15.9	−69	−10.6

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

3.1　河水样品化学分析

本次取样之前,Williams et al(1995)在乌鲁木齐河源头上大西沟位置取过冰雪样(59 次)和河水样(32 次),其中冰雪样化学成分中 HCO_3^- 占阴离子平均浓度的 61%,Ca^{2+} 占阳离子浓度的 64%,认为是粉尘中含有碳酸盐风化物质。河水样化学成分中,HCO_3^- 占阴离子平均浓度的 67%,Ca^{2+} 占阳离子浓度的 78%,它们的平均浓度是季节性融雪的 5～20 倍。这表明流域内碳酸盐岩石以很快速度在风化。

另据 Zhou 等(2007) 青年渠有 4 次样品数据,Cl^- 含量在 0～4.3mg/L(大西沟在 0.35～1.65mg/L),NO_3^- 在 3.9～5.36mg/L(大西沟在 0.17～1.25 mg/L)(图 3)。以上这些样品的取样时间均在 1992 年份,大气污染影响可以忽略不计,因为工业燃煤的大气污染物中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是同步增长的。所以本区 Cl^- 和 NO_3^- 含量的输入主要和当地地面环境有关。

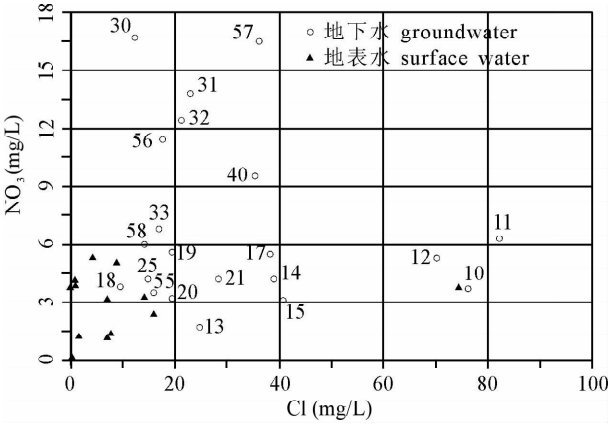


图 3　柴窝堡盆地河水和地下水 Cl^- 和 NO_3^- 关系

Fig. 3　Relationship of Cl^-, and NO_3^- in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River Catchment

地下水样和河水水样(乌鲁木齐河,冰雪源头)

(引用 Williams et al.,1995 的数据)

Surface water—Ürümuqi river, Baiyangshu river, dry cirque (after Williams et al.,1995)

本次 2008 年 6 月采取的河水样中 Cl^- 含量在 8.9～74.4mg/L,NO_3^- 在 3.8～5.1mg/L。这些数据与青年渠 1992 年以前 4 次采样的数据比较,NO_3^- 含量基本相似,但 Cl^- 浓度明显增长,原因和当地地面环境污染有关,大气污染影响并不明显。

3.2　湖水样品化学分析

柴窝堡湖的水均衡特点是边补给边蒸发,当在某一时段(1996～2008 年)补给量小于蒸发量时,湖水化学成分反映的蒸发特征是 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的累积。其化学组成除 $CaCO_3$(方解石)沉淀外,溶解成分主要有盐类(石盐 NaCl、钾盐 KCl、镁盐 $MgCl_2$)和芒硝类(无水芒硝 Na_2SO_4、钙芒硝 $Na_2Ca(SO_4)_2$)

柴窝堡盆地大盐湖水经受着强烈的蒸发效应,不断析出盐分。这从两个湖水样品(1 号样、2 号样)的 Cl^- 含量分别为 177250mg/L 和 19993.8mg/L,以及稳定同位素处在蒸发线上(图 4)可以得到证明。

利用大盐湖湖水样品的化学分析,按照易溶矿物溶解度排序进行平衡计算(Berner,1980;Freeze,1997),结果见表 2。

表 2　柴窝堡盆地大盐湖水的水化学平衡计算表 (mmol/L)

Table 2　Hydrochemical balance calculation of samples from Large Salt Lake in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River Catchment (mmol/L)

	NaCl	$MgCl_2$	KCl	Na_2CO_3	Na_2SO_4
1 号样	4454.6	247.0	44.4	6.45	496.5
2 号样	533.4	13.3	3.0	1.63	169.0

上表说明,湖水全部蒸发后产生的矿物主要是石盐(NaCl)和无水芒硝(Na_2SO_4),其它次要矿物为钾盐(KCl)、镁盐($MgCl_2$)和天然碱(Na_2CO_3)

3.3　地表水的稳定同位素

本次稳定同位素 δD 和 $\delta^{18}O$ 测试样品共取 9 组,其中 3 组为河水,7 组为湖水(图 4),白杨树河和乌鲁木齐河河水样品的 δD 剩余(Mazor,2005;Clark Ian et al.,1999;Dansgaard,1964;)d[$=\delta D-8\delta^{18}O$]变化在 14.2‰～14.8‰之间,平均值为 14.5‰。根据新疆奎屯河流域南洼地地下水 10 组样品计算出的平均值为 15‰(李亚民,2008)。相比于全球大气水线 d＝10‰而言,要高出 4.5‰～5.0‰,这和新疆当地的地理位置和气候干旱有关。根据 Yamanaka 等(2004)研究,乌鲁木齐市降水的逐月数据分析,每年秋后到次年春季降水的 d 值明显要高。显然从冰山积雪融化以后形成的河水中可以反映出来。

在图 4 上,5 号和 6 号水样取自柴窝堡湖,因为该湖是当地地下水的排泄带,来自不同方向的排泄水,其稳定同位素可以有变化,所以不同位置的湖水样品会存在差别,同时该湖湖水又在不断蒸发。图 4 上这二个样品的位置也显示了该湖边补给边蒸发的特点。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

大盐湖 1 号样品的位置可视为柴窝堡湖水下泄到大盐湖后发生蒸发的结果，相比之下，大盐湖 2 号样品却是由当地地下水（相当于地下水 9、10、11、12 号样）在地面发生蒸发的结果。这样很容易得出 5、6 样—1 号样，9、10、11、12 样—2 号样二条近似平行的蒸发线（图 4）。

乌拉泊水库及其下游渠的样品（7、8、34 号样品）都聚集一起，反映水库内水体比较均匀混合，同时存在蒸发现象。

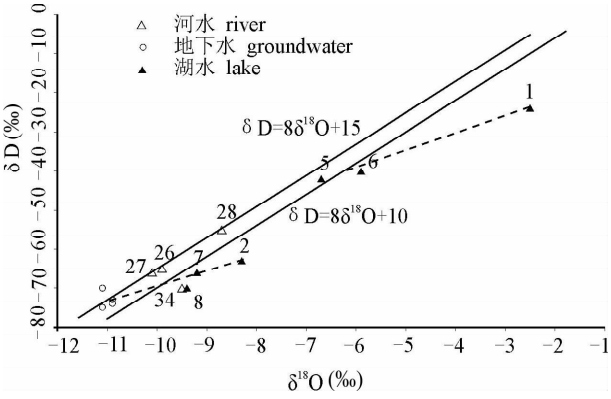


图 4 柴窝堡盆地地表水同位素 δD 和 $\delta^{18}O$ 关系图

Fig. 4 Relationship between δD and $\delta^{18}O$ of surface water in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River Catchment

○—地下水 9、10、11、12 号样点

○—No. 9, 10, 11, 12 from groundwater

4 地下水样品分析

地下水共取样 24 件，其中柴窝堡盆地内 16 件，乌鲁木齐河沿河及西北方向 8 件。

4.1 NO_3^--Cl^- 关系分析

氯化物通常属于保守成分，既不容易在粘土上吸附，也不容易产生氯化物沉淀，除非 Cl^- 浓度超过 200mg/L。在天然条件下，雨水的 Cl^- 离子浓度基本上是海水成分的强烈稀释。当气团和云雾在大陆上空行进时，会不断吸收大陆上空的尘土和气体，包括天然的和工业的来源，这就改变着雨水中 Cl^- 浓度和 Cl^-/Na^+ 的比值（Yamanaka et al.，2004）。

在一般情况下，Cl^- 离子在透水岩石中是不停留的，尤其在地下水的积极循环带不会明显地产生 Cl^- 离子，除非在蒸发岩中（Appelo et al.，1993）。硝酸根可视为地下水补给区植被条件和植物相同性的一种指示剂，它是广泛分布在干旱条件下有氧环境的一种惰性指标剂（Matthess，1982）。

在乌鲁木齐河的源头，冰雪和融雪水的 NO_3^- 含量在 0.18～1.26 mg/L，Cl^- 含量在 0.35～1.65 mg/L（Williams，1995），这组数据代表来自大气圈的降水输入。根据青年渠（乌鲁木齐河引水）和乌鲁木齐河河水的 NO_3^- 含量在 3.81～5.36 mg/L，Cl^- 含量在 0～8.9 mg/L。白杨树河的 NO_3^- 含量在 1.2～3.3 mg/L，Cl^- 含量在 7.1～16 mg/L，这些河水数据为来自地下水的补给和降水相混合的结果，反映出研究区的地质环境背景。

地下水样品一共 24 件，以 Cl^- ＝100 mg/L 为界划分为二组，其中 Cl^- ≥100 mg/L 共有 3 件样品，分别为 9、41、59 号，由于这三个样的生产井孤立地分布在区内，并且都处在人口密集位置（工厂和村子），明显地表现为水井周边人为污染的原因。

另一组样品 Cl^- ＜100 mg/L 共有 21 件样品（图 3）

在 NO_3^-－Cl^- 关系图上，以 NO_3^- ＝6 mg/L 为界可以分出二组

A 组 NO_3 ≤6 mg/L，共 14 件样品（其中 11 号样 NO_3 ＝6.3 mg/L 划在 A 组）

B 组 NO_3 ＞6 mg/L 共 7 件样品

4.1.1 A 组样品分析

这组样品分布特征如下：

NO_3^- ≤6 mg/L，和乌鲁木齐河（青年渠）、白杨树河的背景值相似（图 3），说明和柴窝堡盆地内补给区地面的植被环境相似，没有明显的人为耕作和施用化肥的影响。

Cl^- 含量 70～80mg/L 的样品井位（10、11、12 号样）均围绕大盐湖分布；Cl^- 含量 20～40mg/L 的样品井位（13、14、15、17、21 号样）均分布在柴窝堡湖和大盐湖一线的东北部；Cl^- 含量 10～20mg/L 的样品井位分布在乌拉泊水库和柴窝堡湖一线的两侧，在其东北部有二个样（18 和 25 号样），在其西南部有四个样（55、19、20、58 号样）其中 18 和 25 号样的 Cl^- 含量与其附近的白杨树河河水数据近似。

从区域的井位分析，大盐湖地表水 1 号样证明大盐湖是柴窝堡盆地内氯化物的源头（表 4），其蒸发形成的盐分可以通过当地的风力搬运，一种可能是搬运到冲积扇的上部补给区，另一种可能是搬运到井位附近入渗，总之离大盐湖距离越近，Cl^- 含量相应就越高。这就直接导致地下水中的 Cl^- 含量输入存在差异。

取样点位置相互靠近的 Cl^- 含量相似（图 2、图 3），有以下样品分组：10、11、12；13、14、15；17、21；18、25；19、55、20；58。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

4.1.2　B 组样品分析

NO_3^- >6 mg/L 的样品共 7 件,井位都分布在乌鲁木齐河(青年渠)的西北方向,NO_3^- 含量增长超出区域背景值(NO_3^- ≤6 mg/L),明显受到当地工农业生产活动的影响,尤其是农业耕种。

4.2　HCO_3^--SiO_2 关系分析

天山山脉主要由沉积岩组成,局部分布变质岩和火成岩。研究区的南山主要分布第三系泥岩,主要的地球化学特征为富 CaO,而 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、K_2O、MgO、MnO 和 Na_2O 含量相对偏低,Al 和 K 元素富集于长石和伊利石、高岭石等粘土矿物中(李双建等,2006),东山基岩山区主要分布二叠系、三叠系和石炭系地层,其中的石炭系以粉砂岩、凝灰岩为主,含少量中酸性火成岩和变质岩,化学成分主要为 SiO_2、Al_2O_3、K_2O 和 Na_2O 等,具有高硅、富铝、丰碱和贫铁等特征,属钙碱系列、铝过饱和岩石(徐学义等,2002)。

位于山口的冲积扇由松散堆积物组成,其矿物成分直接和山区内部的岩层分布相关联。本区研究以铝硅酸盐矿物(包括长石类、云母类)作为地下水补给区(冲积扇上部或扇头)松散堆积物的标记矿物,位于不同山口位置的冲积扇堆积物,其标记矿物的成分和含量都会存在差异。相应不同位置的地下水补给区,因标记矿物的成分和含量的差异可以通过地下水中 HCO_3^- 和 SiO_2 含量的关系反映出来(Edmunds, 1999;Berner,1980)。

假定在一个补给区土壤带的标记矿物组成相似,那么当地面水体入渗通过土壤带时,在植被根系部位溶入 CO_2 :

$$H_2O+CO_2 \Leftrightarrow H_2CO_3$$

当水体的 pH 值分布在 6～9 之间,水中以 HCO_3^- 形态为主,则有

$$H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

当水和铝硅酸盐矿物反应时,最终在水中形成 H_4SiO_4,下面举二个简单的例子说明(钠长石→高岭土、微斜长石→高岭土):

$$NaAlSi_3O_8 + H^+ + 9/2H_2O = 1/2Al_2Si_2O_5(OH)_4 + Na^+ + 2H_4SiO_4$$

$$KAlSi_3O_8 + H^+ + 9/2H_2O = 1/2Al_2Si_2O_5(OH)_4 + K^+ + 2H_4SiO_4$$

以上关系说明 H_4SiO_4 产生依赖于 H^+ 的消耗,而 H^+ 的消耗量又与 HCO_3^- 含量成正比,所以地下水中 H_4SiO_4 含量和 HCO_3^- 之间会出现呈正比现象。在实际工作中实验室测试分析 Si 的含量均以 SiO_2(mg/L)表示,如果出现正硅酸(H_4SiO_4)或者偏硅酸(H_2SiO_3)表示时相互可以换算。

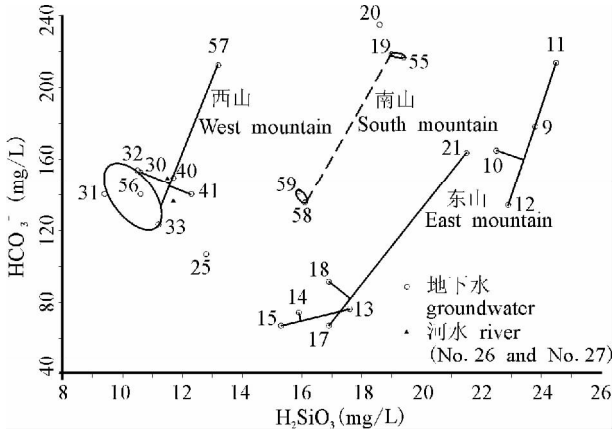


图 5　柴窝堡盆地地下水 HCO_3^--SiO_2 关系分析

Fig. 5　Relationship between HCO_3^- and SiO_2 of samples from groundwater in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River, Catchment

▲—河水 26 号、27 号样点

▲—No. 26, 27 from river

把全部地下水 24 件样品的数据列在图 5 上,从图上点位分布可以分析如下:

(1)9、10、11、12 号四件样品的 SiO_2(此次水质分析用 H_2SiO_3 表示)和 HCO_3^- 近似分布在一条直线上,呈正比关系,说明四件样品可能在同一冲积扇入渗。因为标记矿物的组成和含量相似,但入渗位置的地面存在差异,因植物根系提供的 CO_2 输入量不同。

(2) 13、14、15 号三件样品和 17、18、21 号样品的分布和 9、10、11、12 号样品组情况相同,它们可能所在冲积扇的标记矿物相似,但入渗位置的 CO_2 输入量存在差异。

(3) 25 号取样的地理位置紧靠地表水 26、27 号样品,在图 5 上分析,既不同于 17、18、21 号三件样品,也不同于 26、27 号二件样品(地表水),位置介于二者之间。推测该样品受到白杨树河河水的直接补给。

(4) 19、55 号二件样品在图 5 上紧密分布在一个位置,说明这二件样品不仅可能属于同一冲积扇补给,而且入渗位置地面环境也相同(CO_2 输入相同)。另一组 58、59 号样品和 19、55 号样品情况相同。

(5) 9 号和 59 号样品,虽然受到当地严重的地面污染(NO_3^- 与 Cl^- 分析),但是并没有明显影响 HCO_3^- －SiO_2 的分析,说明污染和未污染水体在地层中是分层分布的,只是在抽水井抽水时才发生混合,实际上 NO_3^- ≤6mg/L,Cl^- <100mg/L 的地下

水样品都受到了地面污染，作为污染源，大盐湖蒸发盐主要由盐类和芒硝类矿物组成，经过地面风力搬运，推断是在井位附近入渗，而不是补给区入渗。

(6) 20 号样品和 19、55 号样品略有差异，相互之间并不构成 HCO_3^--SiO_2 的正比关系，所以 20 号样单独列为一组。

(7) 分布在乌鲁木齐河(青年渠)西北方向的样品共为 8 件。在图 5 上除 57 号样品外，余下 7 件均聚集分布，说明后者所处环境从补给入渗位置的标记矿物构成和输入均比较趋同。由于该地区已属农业耕作区，人为活动较多，所以该区 CO_2 输入致使 HCO_3^- 高的原因主要和当地地面环境有关。

(8) 分布在东山、南山和西山(乌鲁木齐河西北部)的山口冲积扇补给区，具有各自类似的标记矿物分布特征。在图 5 上，东山的特征大致可以用 11 号样和 17 号样的连线表示，该区基岩的主要成分为铝硅酸岩，冲积扇中的 SiO_2 含量亦高；南山大致用 19 号样和 58 号样的连线表示，该区基岩的成分为泥岩，与南山比较其矿物中的硅质成分相对较低；西山大致用 57 号样和 40 号样连线表示(因为这两个点距乌鲁木齐河最远，受河水影响最小)。这三根直线近似地代表了三个不同补给区(方向)的 HCO_3^--SiO_2 之间的正比关系。

4.3 δD 和 δ^{18}D 关系分析

对本区地下水样品 δD 和 δ^{18}D 数据分析立足于以下前提：

在每个山口冲积扇入渗补给的水源、来自山区汇水区输出的地表水、入渗以后径流到盆地排泄带取样，所以决定样品稳定同位素值的因素有两个(Scanlon et al.，2006；Tardy，1971)：

①全新世以来各个山区汇水区的地表水的平均补给高程。

②在晚更新世补给的水体，可称作古水，定义为非现代气候条件下的补给，其实 20 号样品同位素与高程效应相矛盾，推测与古水存在联系。

实际上样品的稳定同位素值有可能存在混合现象，相当现在不同山口冲积扇补给的地表水和晚更新世补给的古水混合。例如南山冲积扇补给的三组样品，20 号样、19 号样和 55 号样，以及 58 和 59 号样之间稳定同位素值明显出现差异。所以现有数据是不能单纯用高程效应来解释的。

全部地下水样品共 24 件标在图 6 上，图上对比线代表当地降水线 $\delta D = 8\delta^{18}O + 15$。

全部样点的数据在图 6 上的分布可以结合以下

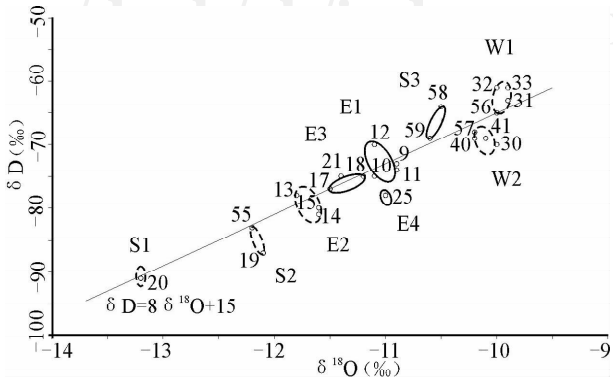


图 6 新疆乌鲁木齐河流域柴窝堡盆地地下水同位素 δD 和 δ^{18}O 关系图

Fig. 6 Relationship between, δD and δ^{18}O of grondwater, in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River, Catchment

资料一起分析：①取样井位置相互靠近；②水样的 NO_3^--Cl^- 关系分析；③水样的 HCO_3^--SiO_2 关系分析。

根据以上分析，从取样位置、NO_3^--Cl^- 关系、HCO_3^--SiO_2 关系和 δD 和 δ^{18}O 关系四个方面得出的结论基本上一致(表 3)(图 7)。

我们可以认为一个组的水流系统相当一个山口冲积扇或一个山麓冲积扇(多个扇组合)的补给系统，其中 W1 组水流系统样点接近乌鲁木齐河(青年渠)，相比于 W2 组水流系统的同位素和水化学值可能受到河水的影响更小(图 7)。

5 结论

(1) 通过地表水(乌鲁木齐河青年渠和白杨树河)化学成分的 NO_3^--Cl^- 关系分析证实当地大气降水环境尚处于无明显污染状态。由此得出地下水的污染成分主要来自地面。在乌鲁木齐河青年渠以东，除三口水井($Cl^- > 100mg/L$)遭到原位生活污染外，其它井水普遍受到盐湖盐分风力搬运的影响。在乌鲁木齐河青年渠的西北，地下水普遍受到农业开垦的影响。

(2) 柴窝堡盆地四周地形高，山区降水量大，主要通过山前冲积扇入渗地下补给，而盆地中央存在一个西北—东南的地形低洼地带和地下水排泄带，大面积的蒸发形成咸水湖(柴窝堡湖)和大小盐湖。利用山前冲积扇沉积物中硅酸盐矿物组成的差异，进行 HCO_3^--SiO_2 关系分析，把全部地下水样品划出三组补给来源，分别为东山、南山和西山的山区降水通过山前冲积扇入渗形成。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 3　新疆乌鲁木齐河流域柴窝堡盆地地下水流系统划分表

Table 3　Groundwater systems in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River Catchment

	NO_3^- 和 Cl^-(mg/L)关系分析					HCO_3^- 和 SiO_2(mg/L)关系分析	δD 和 $\delta^{18}O$ (‰)关系分析	地下水系分组
	$NO_3 \leqslant 6$			$NO_3>6$ $Cl<100$	$Cl>100$			
	Cl							
	10～20	20～40	70～80					
东山样品	18,25	13,14,15 17,21	10,11,12		9	9,10,11,12 13,14,15, 17,18,21 25	9,10,11,12 13,14,15 17,18,21 25	E1 E2 E3 E4
南山样品	19,20,55 58				59	20 19,55 58,59	20 19,55 58,59	S1 S2 S3
西山样品				30,31,32,33 40 56,57	41	57 31,31,32,33 40,41,56	30,40,41,57 31,32,33,56	W2 W1

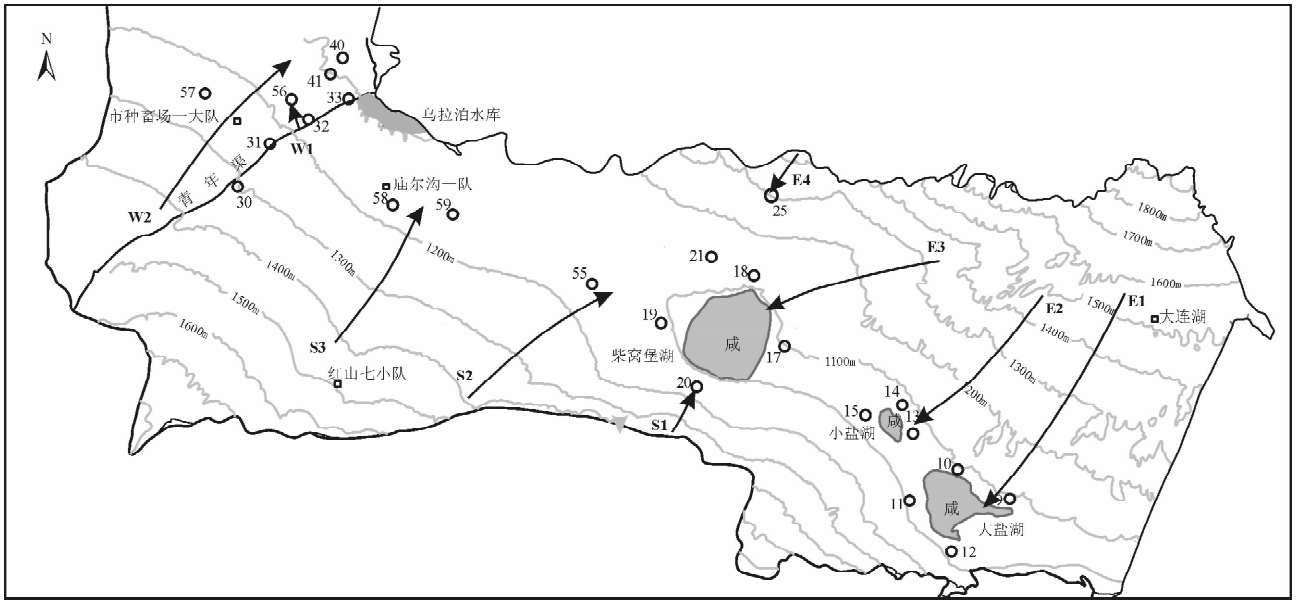


图 7　柴窝堡盆地下水地水流系统流线模式图

Fig. 7　Model chart of groundwater systems in Chaiwopu Basin, Ürümuqi River, Catchment

(3) 根据稳定同位素 δD 和 $\delta^{18}O$ 分布,确定当地大气水线近似为 $\delta D=8\delta^{18}O+15$。以取样井分布位置,水样的 NO_3^--Cl^- 关系和 HCO_3^--SiO_2 关系分析为基础,结合稳定同位素的分布划分出 9 个地下水流分支系统,其中南山补给区样点的 δD 和 $\delta^{18}O$ 分布明显反映和当地的高程效应不符,提示样品中存在古水(晚更新世补给的水)不同程度的混合。

致谢:本成果在研究过程中得到了中国地质环境监测院王瑞久教授的指导,新疆地质环境监测院在野外工作中给予了支持和帮助,在此表示衷心感谢!

注　释

❶ 新疆地质矿产局第一水文地质工程大队. 1988. 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐城市地质综合勘查报告(1:50000). 内部资料.

❷ 新疆地质环境监测总站,长春地质学院水工系. 1990. 乌鲁木齐河中上游地下水资源初步管理模型及合理开发利用研究. "七五"部重点科技 攻关项目研究成果报告. 内部资料.

参　考　文　献

李双建,王清晨. 2006. 库车坳陷第三系泥岩地球化学特征及其对构造背景和物源属性的指示. 岩石矿物学杂志,25(3):219～229.

李亚民,王英男,徐旭,罗跃初. 2008. 奎屯河流域南洼地地下水补给

特征分析. 水文地质工程地质,35(4):31～33.
徐学义,何世平,马中平,杨建国. 2002. 新疆柯坪库木如吾祖克地区二叠纪火山岩. 西北地质,25(2):35～41.
Appelo C A J, Postma. D. 1993. Geochemistry, groundwater and pollution, 22～24.
Berner R A. 1980. Early Diagenesis: A Theoretical Approach. Princeton, NJ: Princeton University Press.
Clark Ian D, Peter Fritz. 1999. Environmental isotopes in Hydrogeology. America: Lewis Publishers.
Dansgaard W. 1964. Stable isotopes in precipition. Tellus, 16: 436～468.
Edmunds W M. 1999. Groundwater nitrate as a palaeoenvironmental indicator. Geochemistry of the Earth's Surface, 35～38.
Edmunds W M. 2001. Significance of geochemical signatures in Sedimentary basin aquifer Systems. Water-Rock Interaction, 29～36.
Freeze R A, J A Cherry. 1979. Ground Water. Prentice-Hall. Inc.
Li Shuangjian, Wang Qingchen. 2006. Geochemical characteristics of Tertiary mud stones in Kuqa depression and their implications to tectonic setting and provenance attribute, Acta Petrologica et Mineralogica, 25(3): 219～229 (In Chinese, with English abstract).
Li Yamin, Wang Yingnan, Xu Xu, Luo Yuechu. 2008. Characteristics of groundwater rechargement in Nanwadi, Kuitun river basin, Hydrogeology and Engineering geology, 35(4):31～33 (In Chinese, with English abstract).
Matthess G. 1982. The Properties of Groundwater. A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, 255.
Mazor E. 2005. Chemical and isotopic groundwater hydrology. New York: Marcel Dekker Inc.
Scanlon B R, Keese K E, Flint Alan L, Flint Lorraine E, Gaye Cheikh B, Edmunds W M, Simmers Ian. 2006. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions, Hydrol. Process. 20: 3335～3370.
Tardy Y. 1971. Characterization of the principal, weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. Chem. Geol., 7: 253～271.
Williams M W, Daqing Yang, Fengjing Liu, John Turk, John M Melack. 1995. Controls on the major ion chemistry of the Urumqi River, Tian Shan, People's Republic of China, Journal of Hydrology, 172: 209～229.
Xu Xueyi, He Shiping, Ma Zhongping, Yang Jiangu. 2008. The Premian volcanic rocks from Kumuruwuzuke area, Keping County, Northwestern, Geology, 25(2):35～41 (In Chinese, with English abstract).
Yamanaka T, Shimada J, Hamada Y, Tanaka T, Yang Yonghui, Zhang Wanjun, Hu Chunsheng. 2004. Hydrogen and oxygen isotopes in precipitation in the northern part of the North China Plain: Climatology and inter-storm variability, Hydro. Process. 18: 2211～2222.
Yangxiao Zhou, Johannes C Nonner, Wenpeng Li, et al. 2007. Strategies and techniques for groundwater resources development in Northwest China. China Land Press.
ZhouYangxiao, Nonner Johannes C, LiWenpeng, et al. 2007. Strategies and techniques for groundwater resources development in Northwest China. China Land Press.

Hydro-chemical and Isotopic Research in Chaiwopu Basin, Ürümqi River Catchment

YIN Xiulan[1)] LI Wenpeng[1)] WANG Juntao[1)], ZHU Jin[2)], JIANG Yue[2)], HUO Chuanying[2)]
LI Ning[1)], XU Zicheng[1)]

1) *China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing*, 100081;
2) *Xinjiang Station of Geo-Environmental Monitoring, Ürümqi*, 830091

Abstract

Groundwater is essential to the development of socio-economy and ecosystem maintenance in Ürümqi River Catchment. However, heavy exploitation has resulted in decrease of groundwater level, and shrinking of lake size, and change of dynamic system of underground water especially in the Chaibu basin. So, research of underground water system and recharge relation not only provides an important basis for both understanding of underground water system in basin and reasonable application of underground water resources, but is of realistic significance for adjustment of underground water mining. Based on the geological and hydrogeolocial background and difference of recharge environments of underground water, this study defines the recharge source and discharge approach of underground water of the Chaiwobu basin using hydrochemcial and stable isotopic methods, and classifies the recharge reaches in the basin, including Dongshan, Nanshan and Xishan reaches, each of which is further subdivided into various current systems.

Key words: Hydro-chemistry, δD & $\delta^{18}O$, isotopic, Chaiwopu basin, alluvial fan