

四川牟尼沟水体的同位素地球化学特征

李宏业¹⁾ 尹 观¹⁾ 杨俊义²⁾ 范 晓²⁾ P59 A

(1)成都理工大学应用核技术与自动化工程学院 四川省地学核技术重点实验室,四川 成都,610059;

2)四川省区域地质调查队,四川 成都,610213)

摘 要 牟尼沟位于四川省北部阿坝州松潘县,青藏高原东隅,系黄龙-九寨沟国家风景名胜区的一部分。文中运用同位素地球化学的方法,对牟尼沟各水体中的 δD 、 $\delta^{18}O$ 、 T 值、氘过量参数(d)和元素化学分析数据进行研究,初步查明牟尼沟内大气降水、地表水、地下水以及主要泉水之间的循环和补、径、排关系。珍珠泉和翡翠泉为沟内出露的主要泉水;其中二道海沟珍珠泉系地下深循环热水的露头,是大气降水通过补给区弱透水覆盖层中的断裂或裂隙下渗,通过深大断裂循环至地下深部,与深部热流进行热交换后,返回地表出露,其作为天然温泉开发具有较大的潜力;矿泉水厂沟的翡翠泉是典型的酸性岩溶冷泉,含水层水的径流较珍珠泉慢,且滞留时间相对长些,含有一定的 CO_2 ,系一深部含水层地下水的露头,它源自全区补给高度最高的大气降水。泉水流量大且稳定,水质好,作为矿泉饮用水开发具有重要的经济价值;沟内大多数地表径流来源于大气降水和浅层地下水补给,丰水期以大气降水为主,枯水期浅层地下水补入到地表径流中的比例相对增加。这种对地表径流的调节作用,对于保持风景区内的景观具有重要作用。同时对于评估珍珠泉、翡翠泉的开发潜力以及牟尼沟景区的旅游经济和可持续发展具有重要意义。

关键词 牟尼沟 水循环系统 同位素 氘过量参数(d)

Isotopic Geochemical Characteristics of Water Bodies in Munigou, Sichuan Province

LI Hongye¹⁾ YIN Guan¹⁾ YANG Junyi²⁾ FAN Xiao²⁾

(1)Key Laboratory of Applied Nuclear Techniques in Geosciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059;

2)Sichuan Regional Geological Surveying Party, Chengdu, Sichuan, 610213)

Abstract Munigou is a part of the Huanglong - Jiuzhaigou national scenic spot in northern Sichuan Province. Based on analyzing the data of δD , $\delta^{18}O$, tritium contents, deuterium excess parameters (d -excess) and element chemical composition by the isotope geochemical technique of natural water, the authors discuss the recharge, runoff, discharge and the hydraulic relationship between the precipitation, terrain surface water, groundwater and main springs in Munigou area. The Pearl Spring and the Jadeite Spring are major spring resources in this spot. The Pearl spring is a hot spring recharged by the precipitation derived from an elevation of over 3 700 m. A part of precipitation infiltrates underground and returns to the earth's surface after it exchanges quantities of heat with deep hot fluids. The Pearl spring can therefore be exploited as a hot spring. The Jadeite spring is a typical acidic karst water cold spring. The velocity of water flow in the aquifer of the Jadeite spring is slower than that of the Pearl spring and the water has longer detained time. The spring water has a good quality and an important economic value as natural mineral water. The runoff in Munigou is mostly recharged by precipitation and shallow groundwater. This recharge shows seasonal variation and plays an important role in maintaining the landscape of the scenic spot. The problems discussed in this paper have far-reaching significance in the evaluation of the exploitation potential of the Pearl Spring and the Jadeite Spring and also in the protection and sustainable development of the precious natural resources in Munigou area.

Key words Munigou water circulating system isotope deuterium excess parameters (d -excess)

本文由四川省黄龙国家风景名胜管理局研究项目资助。

责任编辑:官月萱。

第一作者:李宏业,女,1979年生,在读硕士研究生,同位素地球化学专业;E-mail:lhdydaili@163.com。

1 地质概况

牟尼沟位于四川省北部阿坝州松潘县,青藏高原东隅,系黄龙-九寨沟国家风景名胜区的一部分。地理坐标为 E103°26′~103°32′,N32°33′~32°41′,面积约 60 km²(张慧利等,2002)。区内地质结构复杂,构造变动强烈,地层发育齐全,出露最老的地层是石炭系上统西沟组,其上有二叠系下统三道桥组,三叠系下统茆茨沟组,中统扎尕山组、杂谷脑组,上统侏倭组、新都桥组,缺失侏罗系、白垩系和第三系,第四系见有更新统和全新统。

牟尼沟地处松潘-甘孜造山带西部,数次造山运动使松潘、阿坝地块向北推挤,造成该区地势抬高,形成了高峻的雪宝顶复背斜。背斜的北翼地层发生了倒转和断裂,使区内大量发育 EW 向压扭性和 SN 向张性断裂,为地表水的下渗、地下水潜流、径流提供了通道(王茜等,2001)。沟内地下水丰富,基岩裂隙水常在断层两侧以泉水出露,且常年向沟谷低地及河床内排泄。牟尼沟以两分水岭为界,可分为二道海、扎嘎瀑布沟和矿泉水厂沟 3 个次级水文地质单元。北侧的二道海在区内面积最大,呈 W-S-E 向分布。西侧是呈近 SN 向分布的扎嘎瀑布沟。矿泉水厂沟处于二道海和扎嘎瀑布水文地质单元之间。

在二道海水文地质单元内,珍珠泉(温泉)地处构造大拐弯处,为出露于地表的上升温泉群,泉水出露面积约 400 m²,硫化氢含量较高,常年水温为 20℃左右,水流量较大。在矿泉水厂沟水文地质单元内有中国十大名泉之一翡翠泉(冷泉)。

为了初步查明沟内大气降水、地表水和地下水之间的循环及主要泉水的补、径、排关系,分别在枯、丰水季节选点采集了水样(图 1),做了 H、O 同位素及元素分析,并依据 $d = \delta D - 8\delta^{18}O$ (W. Dansgaard, 1984)计算出氘过量参数值(d),结果列于表 1。

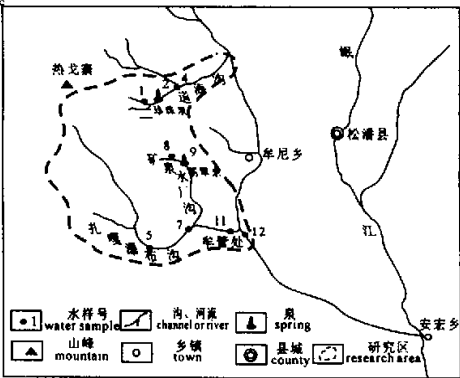


图 1 牟尼沟水文地质单元分布及采样位置示意图
Fig.1 Hydrogeological units of Munigou and sample locations

表 1 牟尼沟部分水体的同位素及化学分析数据表
Table 1 Isotope composition and chemical analysis data of the several water bodies in Munigou

编号	样品名称	采样位置	采样高程/m	$\delta D_{SMOW}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{SMOW}/\text{‰}$	$d = \delta D - 8\delta^{18}O$	T/°C	总硬度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	矿化度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	HCO_3^- / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	游离 CO_2 / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	采样时间/年·月
1	溪水	珍珠泉溪沟	3410	-93.5	-13.39	13.62	24	137.6	226.4	158.6	66.1	2000.08(丰水期)
				-101.0	-13.77	9.16	12.1	137.6				2000.12(枯水期)
2	泉水	珍珠泉	3410	-104.3	-14.17	9.06	19	1453.8	2232	1656.6	663.3	2000.08(丰水期)
				-102.3	-13.25	3.70	12.1					2000.12(枯水期)
4	泉水	二道海管泉	3270	-88.1	-13.26	17.98	20	275.2	539.3	39.7	23.4	2000.08(丰水期)
				-103.7	-13.55	4.70	<3	347.8				2000.12(枯水期)
5	溪水	瀑顶	3220	-96.7	-13.10	8.10	19	277.7	723.9	540	39.67	2000.08(丰水期)
				-98.6	-14.10	14.20	13.2	455.4				2000.12(枯水期)
7	溪水	扎矿汇前	3000	-98.8	-13.34	7.92	18	220.2	440.9	326.2	20.35	2000.08(丰水期)
				-105.9	-13.61	2.98	17.6	280.3				2000.12(枯水期)
8	泉水	支沟泉群	3300	-101.2	-13.56	7.28	19	260.2	423.9	314.2	22.38	2000.08(丰水期)
				-100.5	-13.64	8.62	32.4	265.2				2000.12(枯水期)
9	泉水	翡翠泉	3210	-103.4	-13.67	5.96	15	820.7	1528	1141	864.69	2000.08(丰水期)
				-114.0	-14.32	0.56	29.3	848.3				2000.12(枯水期)
11	溪水	牟管处后溪沟	2960	-97.6	-13.05	6.80	25	207.7	420.7	311.2	10.17	2000.08(丰水期)
				-104.4	-13.73	5.44	27.9	260.2				2000.12(枯水期)
12	溪水	三联汇流后	2950	-92.1	-13.02	12.06	21	185.2	382.9	280.9	12.21	2000.08(丰水期)
				-99.0	-13.81	11.48	18.4	232.7				2000.12(枯水期)

注:同位素组成分析由中国地质大学(武汉)测试中心完成;分析人:黄俊华;水化学分析数据根据四川省区调队分析资料。

研究中同位素测试方法:氢采用金属铷法,在 600~700 ℃ 真空下,收集金属铷与样品水反应生成的氢气,收交同位素质谱计测定。氧采用 CO₂ 平衡法,在真空条件下,通过 CO₂ 与样品水的 O 同位素交换反应(25 ℃),达平衡后,收集 CO₂ 气体,交同位素质谱计测定。实验仪器为 MAT251 同位素质谱计。对 SMOW 标准样品测定精度: H 同位素为 ±0.1%; O 同位素为 ±0.001%。

2 水体的同位素组成及水文地质规律

所测结果投影到 δD-δ¹⁸O 图形上,区内所有地表水和泉水的 δ 值均落在黄龙-九寨沟地区的大气降水线 δD 为 7.43δ¹⁸O + 6.59($r=0.98$)(尹观等, 2000)附近(图 2),说明具有大气降水补给的特征,但部分样品的 O 同位素有一定的正偏移。由于大气降水补给到各种水体内的补给方式、补给源区和高度以及地下水库容的大小、水的滞留时间和新老水更替周期的不同等,加之该区地处高山峡谷地带,地形差异大,造成各水文地质单元水体的同位素组成存在较大的差异。

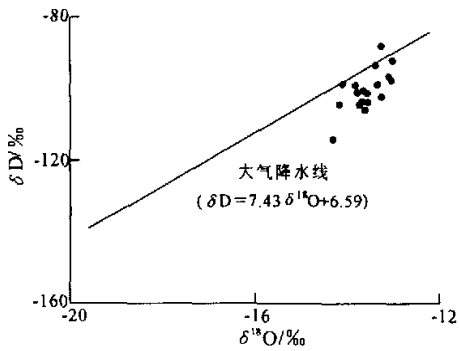


图 2 牟尼沟景区水样的 δD-δ¹⁸O 图
Fig. 2 δD-δ¹⁸O diagram of water sample in Munigou

2.1 二道海水文地质单元

二道海沟溪水流量较小,且有一定的季节性变化。采样主要集中在 2 个端点,上游端点分别采集了珍珠泉泉水(2[#])和溪沟中的溪水(1[#]);下游端点采集了二道海管泉泉水(4[#])。其同位素组成具有以下特点(图 3~6):

(1)珍珠泉溪沟溪水和二道海管泉泉水 δD 的季节性变化大,丰水期高于枯水期;珍珠泉泉水 δD 值季节性变化小,枯水期稍高于丰水期,时珍珠泉溪沟、二道海管泉枯水期的 δD 比较接近。

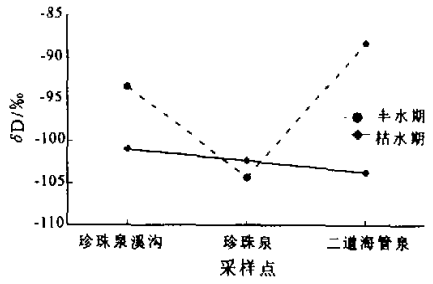


图 3 二道海沟水样的 δD 图
Fig. 3 The δD of water sample in Erdaohaigou

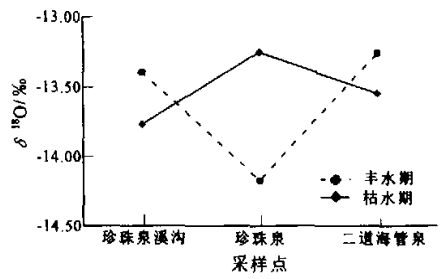


图 4 二道海沟水样的 δ¹⁸O 图
Fig. 4 The δ¹⁸O of water sample in Erdaohaigou

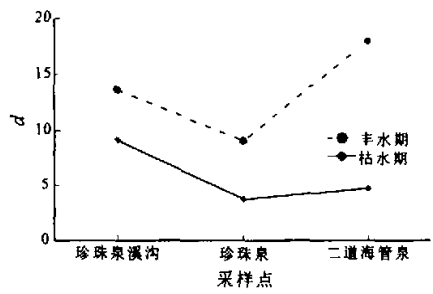


图 5 二道海沟水样的 d 图
Fig. 5 The d of water sample in Erdaohaigou

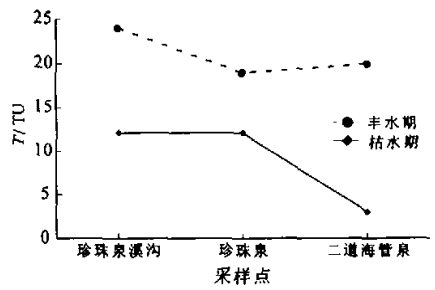


图 6 二道海沟水样的 T 图
Fig. 6 The T of water sample in Erdaohaigou

(2)沟内各采样点水的氘值(T)和氦过量参数(d)值在丰水期高,枯水期低,其中珍珠泉泉水的 d 值枯、丰水期均为沟内同期最低值。

以上同位素组成信息表明:

(1)二道海沟内枯水期的 δD 相差不大,可见沟内溪水、泉水的补给以地下水为主,其补给源的高度接近一致;在丰水期,溪水和二道海管泉泉水接受了大量地势相对较低的大气降水,导致这些水的 δD 、 d 、 T 值相对增高。

(2)珍珠泉温泉水的 δD 季节性变化小,表明其补给源稳定,水相对混合均匀。枯水期泉水的 d 值仅为3.70,结合其地貌(90° 的大转弯)和地质构造(有断层通过)和泉水的硬度大($1\,453.8\text{ mg/L}$)、矿化度高($2\,232.0\text{ mg/L}$)、游离 CO_2 (663.3 mg/L)、 HCO_3^- ($1\,656.6\text{ mg/L}$)含量高的特征,可以推断,珍珠泉系深部循环地下水的露头。大气降水通过补给区弱透水覆盖层中的断裂或裂隙下渗,进入深度为数千米处的含水层,经深部循环、加热后沿地表出露位置较低的断裂上升,并在上升过程中混有一定量的大气降水或浅层地下水,枯水期深部地下水的含量相对较高,但到丰水期时,混入的大气降水或浅层地下水的数量有明显增加。

(3)二道海沟管泉泉水的H同位素季节性差异大,氦含量变化明显, d 值丰水期大,枯水期小,反映了水更替周期短,补给源库容量小,受季节性降水影响大的特点(尹观等,1997)。

2.2 矿泉水厂沟水文地质单元

在矿泉水厂沟水文地质单元内采集了上游支沟泉群泉水($8^\#$)和中游的翡翠泉泉水($9^\#$),其同位素组成有以下特点(图7~10):

(1)支沟泉群泉水的 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 d 值无明显季节性变化; T 值在枯水期高丰水期低。

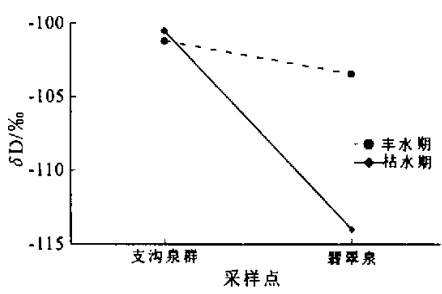


图7 矿泉水厂沟水样的 δD 图

Fig. 7 The δD of water sample in Kuangquanshuichanggou

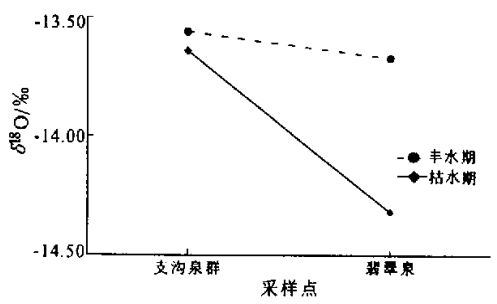


图8 矿泉水厂沟水样的 $\delta^{18}\text{O}$ 图

Fig. 8 The $\delta^{18}\text{O}$ of water sample in Kuangquanshuichanggou

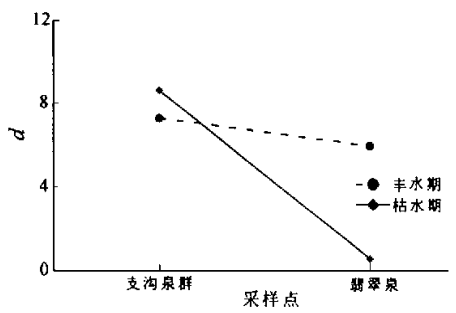


图9 矿泉水厂沟水样的 d 图

Fig. 9 The d of water sample in Kuangquanshuichanggou

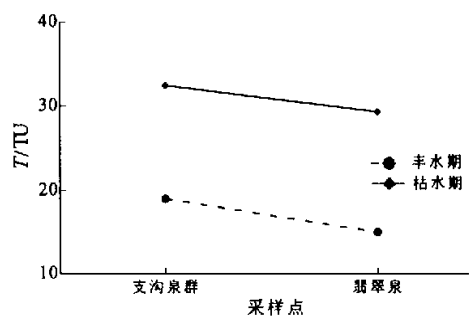


图10 矿泉水厂沟水样的 T 图

Fig. 10 The T of water sample in Kuangquanshuichanggou

(2)翡翠泉泉水的 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 和 d 值,丰水期高,枯水期低,季节性差异明显。

结合上述同位素组成特点和常规水文地质调查及水化学分析可知:

(1)支沟泉群为一地势高于矿泉水厂沟的下降泉,泉水 δD 的无季节性变化反映出其补给源稳定,库容调节量大;其 d 值接近大气降水,反映泉水的

运移途径较短,在很大程度上与受到当地大气降水影响的浅层地下水补给有关。

(2)翡翠泉为一冷泉,水温 9°C 左右,变幅小,水量大,泉水的 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 d 值系全区最低,表明泉水为大气降水补给的深部地下含水层的地下水的露头,其补给源最高,径流速度慢,滞留时间长,含水层封闭条件较好(沈照理,1986)。在补给区,存在较大的地下水储库,库容调节能力强;泉水的游离 CO_2 含量在该区内最高(达 864.69 mg/L),其直接原因可能是深部来源的 CO_2 由于环境条件变化,从水中游离出来。泉水的 HCO_3^- 质量浓度为 $1\ 141.0\text{ mg/L}$ 、矿化度为 $1\ 528.5\text{ mg/L}$ 、pH值为6.4,且泉口有钙华沉积,是典型的正处于发育阶段的酸性岩溶水(王茜等,2001)。泉水的同位素组成季节性变化大,可能是露头处丰水期混有一定数量的当地大气降水。

(3)翡翠泉泉水的同位素季节性变化大,其 T 值和 d 值远比支沟泉群低;加之矿化度、 HCO_3^- 、游离 CO_2 的含量高出支沟泉群数倍以上,这些差异足以表明翡翠泉和支沟泉群是来自不同的地下含水层。

2.3 扎嘎瀑布沟水文地质单元

在该单元内采集了扎嘎瀑布瀑顶溪水(5 $^{\#}$)、扎矿汇前(7 $^{\#}$)、扎嘎瀑布沟和矿泉水厂沟交汇后的车管处后溪沟溪水(11 $^{\#}$)、3条沟交汇处的三联汇流后溪水(12 $^{\#}$) ,可以看出(图11~14):

(1)瀑顶溪水的 H_2O 同位素组成丰水期高,枯水期低;丰水期 T 值(13.2 TU)比枯水期高出5.8 TU,呈现明显大气降水的季节效应特征,溪水主要为大气降水和浅层地下水的混合补给,不过不同季节其混合比不同而已。

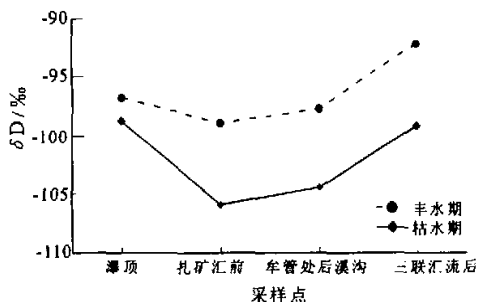


图 11 扎嘎瀑布沟水样的 δD 图

Fig. 11 The δD of water sample in Zhagapobugou

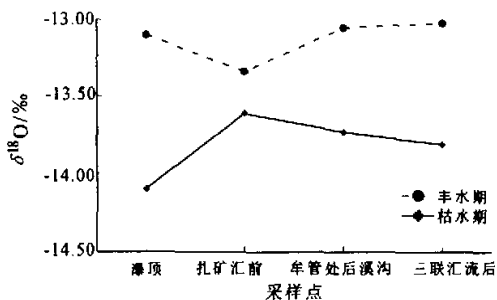


图 12 扎嘎瀑布沟水样的 $\delta^{18}\text{O}$ 图

Fig. 12 The $\delta^{18}\text{O}$ of water sample in Zhagapobugou

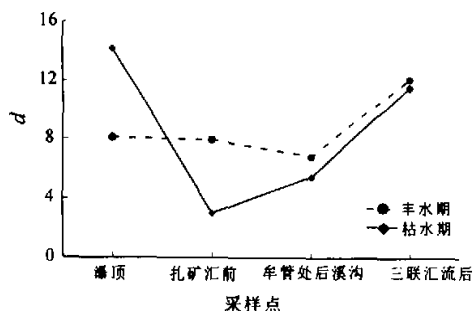


图 13 扎嘎瀑布沟水样的 d 图

Fig. 13 The d of water sample in Zhagapobugou

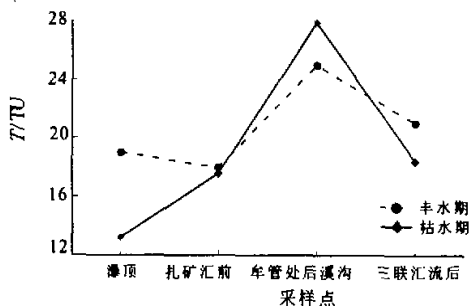


图 14 扎嘎瀑布沟水样的 T 图

Fig. 14 The T of water sample in Zhagapobugou

(2)整个沟内的径流均呈现出较低的矿化度和 HCO_3^- 值,游离 CO_2 很少,反映了大气降水补给占优势。但扎矿汇前溪水 H_2O 同位素季节性变化大, d 值枯、丰水期都偏小,且有较大的季节性变化,反映出有深部地下水的补给,在丰水期,溪水中有一定比例的大气降水,但数量十分有限。

(3)车管处后溪沟位于扎嘎瀑布沟和矿泉水厂沟交汇后,其同位素组成没有很好地落在两个交汇的混和值之间,这种同位素组成的不平衡,显然意味

着存在第 3 种水体的加入,最有可能是由于另外浅层地下水的混入。

(4)三联汇流后溪水明显比牟管处后溪沟富重同位素组成,这是因为取样点位于 3 条沟交汇后,有二道海沟方向高 δD 、 $\delta^{18}O$ 值水的混入,加之地势高程降低沿程汇水面积大大增加,大气降水和浅层地下水补给比例增大。

3 结论

(1)二道海沟珍珠泉系地下热水的露头,根据水的同位素组成和 d 、 T 值及水化学分析资料,可以确定珍珠泉为一深循环的热泉。它是大气降水渗入地下,再通过深大断裂循环至地下深部,与深部热流进行热交换后返回地表出露。因而作为天然温泉开发具有较大的潜力。

(2)矿泉水厂沟的翡翠泉是典型的酸性岩溶冷泉,含水层水的径流较珍珠泉慢,排泄的水相对滞留时间长,含有一定的 CO_2 ,系一深部含水层地下水的露头。它源自大气降水,补给高度为全区最高。泉水流量大,流量稳定,水质好,作为矿泉饮用水开发具有重要的经济价值。

(3)沟内大多数地表径流来源于大气降水和浅层地下水补给。丰水期以大气降水为主,枯水期浅层地下水补入到地表径流中的比例相对增加。这种对地表径流的调节作用,对于保持风景区内的景观具有重要作用。

参考文献

- 沈照理. 1986. 水文地球化学基础. 北京:地质出版社,102~111.
- 王茜,尹观,范晓等. 2001. 四川牟尼沟珍珠泉和翡翠泉和同位素组成及氘过量参数研究. 矿物岩石地球化学通报,20(4):402~405.
- 尹观,汪湘兰,刘天仇. 1997. 西藏拉萨河上中游径流形成机制及水源组成. 地球学报,18(4):316~319.
- 尹观,范晓,郭建强等. 2000. 四川九寨沟水循环的同位素示踪. 地理学报,7(4):487~494.
- 张慧利,杨俊义. 2002. 黄龙牟尼沟景区旅游资源特征. 四川地质学报,22(1):50~54.

References

- Shen Zhaoli. 1986. Base of hydrogeochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 102~111 (in Chinese).
- Wang Qian, Yin Guan, Fan Xiao et al. 2001. Study of the isotope compositions and deuterium excess parameter in the Zhenzhu spring and Feicui Spring, Munigou, Sichuan. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 20(4): 402~405 (in Chinese with English abstract).
- Yin Guan, Wang Xianglan, Liu Tianchou. 1997. Formed mechanism and water source composition on the runoff in the Upper-Middle Course of the Lasa River, Tibet. Acta Geoscientia Sinica, 18(47): 316~319 (in Chinese with English abstract).
- Yin Guan, Fan Xiao, Guo Jianqiang et al. 2000. Isotope tracer on cycl system in Jiuzhaigou, Sichuan. Acta Geographica Sinica, 7(4): 487~494 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Huili, Yang Jiuyi. 2002. Characteristics of tourist resources of Mouni valley scenic spots in Huanglong. Acta Geologica Sichuan, 22(1): 50~54 (in Chinese with English abstract).