

高黎贡山隧道地区地下水水文地球化学特征

石昱祯,李 晓,王希宝

(成都理工大学 环境与土木工程学院,成都 610059)

摘 要:在分析高黎贡山隧道区不同水体水化学组成特征和同位素 D,<sup>18</sup>O,<sup>3</sup>H 含量的基础上,利用水文地球化学方法、同位素分析方法,对地下水化学类型、成因、年龄和补给高程问题进行了初步研究。

关键词:地下水;水文地球化学;同位素;高黎贡山

中图分类号:P342 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2007)06-0348-02

Hydro-geochemical Characteristics of Groundwater  
in Gaoligong Mountain Tunnel

SHI Yu-zhen,LI Xiao,WANG Xi-bao

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract :The research is based on analyzing the characteristic of chemical composition and content of isotope ,D ,<sup>18</sup>O ,<sup>3</sup>H ,in different natural water bodies at Gaoligong Mountain tunnel. By the analysis of hydro-geochemistry ,isotope analysis ,chemical types ,formation causes ,age and recharge height of groundwater are studied.

Key words :groundwater ;hydro-geochemistry ;isotope ;Gaoligong Mountain

1 地质概况

高黎贡山隧道位于云南省西部横断山脉之南西端,怒江至龙陵间,穿越高黎贡山脉。高黎贡山脉的主山脉分布在怒江和龙川江之间,呈南北向展开分布,间距仅约 15 km,海拔多在 3 000 m 以上。隧道区地处怒江断裂南段与龙陵-瑞丽断裂所夹持的地区,南面被勐波罗河-晒干河断裂所切。全区主要为一复式背斜,轴向是南北向转北东向,向北倾伏,地层发育不全,沉积间断较多,缺失下泥盆统、石炭系及上二叠统。本区岩浆活动很强烈,水热活动也较为强烈,是地震活动区。

从水文地质条件上看,测区地下水为第四系土层孔隙潜水及基岩裂隙水。孔隙潜水主要赋存于山间低洼地带及山间盆地第四系土层当中,含水量不大。测区水系多为树枝状及放射状,在山间盆地,除主干河流外,其余支流均由四周山岭向盆地中心汇集,构成幅合状水系,故山间盆地为近地表主要赋水地层,水量较大。测区主要分布碎屑岩、变质岩,含水构造多被断裂破坏,由于沟谷深切,裂隙发育,有利于降水入渗,尤其在断裂破碎带、影响带及构造交汇部位,由于裂隙连通性好,基岩裂隙水较丰富。

2 研究区水化学特征分析

本次分析所用水样的水化学资料来源于铁二院实际调查取样及区域 1:20 万资料,共有温泉水样 49 件,地表水水样 8 件,对其主要离子、微量元素及相关的化学指标进行了分析,结果见表 1。

2.1 主要离子特征

研究区地下水 pH 值介于 6.9~11.7,呈中性偏碱性。

温泉水的主要阴离子为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,分别介于 34~942,5.52~99.35 mg/L,平均含量分别为 252.71,30.97 mg/L;主要阳离子为 Na<sup>+</sup>,含量为 2.8~265 mg/L,平均含量为 94.25 mg/L,这是地下热水的典型特性。温泉水的主要阴、阳离子含量大小顺序分别为:HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>,K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>Mg<sup>2+</sup>。其中 Ca<sup>2+</sup>,Mg<sup>2+</sup>含量很低,Cl<sup>-</sup>的含量变化范围较大,SiO<sub>2</sub>含量高,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>相对于地表水来说含量较高且变化范围很大。

表 1 黎贡山隧道地区地下水水质分析结果 mg/L

名 称		含量
阳离子	K <sup>+</sup>	0.9~27.5
	Na <sup>+</sup>	2.8~265
	Ca <sup>2+</sup>	1.76~75
	Mg <sup>2+</sup>	0.02~33.9
阴离子	Cl <sup>-</sup>	0.69~34.7
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.52~99.35
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	34~942
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	3.79~141
微量组分	F	0.05~24.2
	Li	0.0002~2.138
	Sr	0.0104~0.3733
	Sb	0~0.0044
	As	0.0022~0.2259
其它指标	TDS	35~927
	CO <sub>2</sub>	0~11.89
	SiO <sub>2</sub>	9.4~295
	pH	6.9~11.7
	温度/	20~97

研究区的地表水主要是溪流水和水塘水,主要阴离子为

$\text{HCO}_3^-$  含量介于 46.2 ~ 392.74 mg/L,平均含量为 123.69 mg/L;主要阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,分别介于 10.57 ~ 50.39、0.49 ~ 6.41 mg/L,平均含量分别为 26.72、2.65 mg/L。而地表水中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  的含量都极低, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量也很低。

2.2 水化学类型特征

采用舒卡列夫分类法和派珀 (A. M. Piper) 三线图解法,可将研究区的地下水化学类型分区,如图 1 所示。本区地下

水水化学类型复杂,水化学类型有 5 种:

(1)  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Na} - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} - \text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Mg} - \text{Ca}$ 。其中以  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}$  型水最多,占有水化学类型的 50%,矿化度 0.2 ~ 1 g/L,主要分布于酸性岩浆岩地区的花岗岩、变质岩之中,为中高温 - 高温热水。

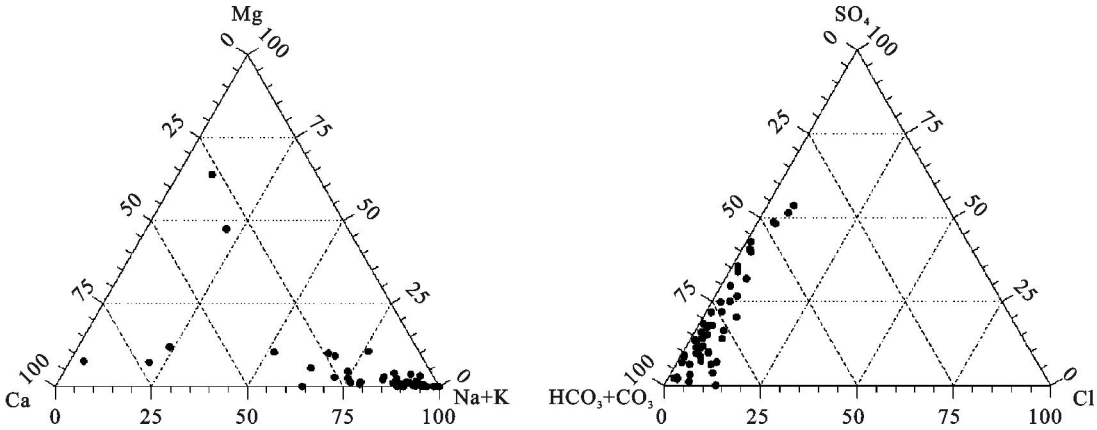


图 1 水化学三线

隧道区温泉发育于结晶岩地区,矿化度一般小于 1 g/L,属于微矿化热水。 $\text{F}$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{H}_2\text{BO}_2$  是深部热水的标性组分。地表水中  $\text{F}$  含量很低,仅为 0.06 ~ 0.11 mg/L,而隧道区温泉含  $\text{F}$  量较高,其值范围在 4.65 ~ 24.85 mg/L,这是地下水最典型的标性组分。硅酸在地下水中的含量较高,主要以偏硅酸 ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) 和硅酸 ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ) 的形式出现。这是由于含有碳酸气体的地下热水与结晶岩中的硅铝酸盐发生作用时,使钠离子和硅酸大量进入水中所致。此外,温

泉水中  $\text{Li}$ 、 $\text{Sr}$  的含量也较高。

3 研究区温泉同位素特征

本次分析利用铁二院提供的高黎贡山隧道地区采集的水样 38 件,其中热泉水 19 件、冷泉水 3 件、地表水 16 件。水样由中国科学院桂林岩溶研究所分析,氢同位素分析采用锌法,氧同位素分析采用  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  衡法。

表 2 隧道附近地区温泉、地表水  $\text{D}$ 、 $^{18}\text{O}$  分析成果

水样类型	$\text{D} \text{ } (\text{‰ SMOW})$			$^{18}\text{O} \text{ } (\text{‰ SMOW})$			$^3\text{H} \text{ } (\text{TU})$		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
温泉水	- 80.1	- 63.2	- 71.96	- 11.32	- 9.15	- 10.24	< 2	11.09	-
冷泉水	- 72.3	- 65	67.7	- 10.28	- 9.55	- 9.83	8.81	9.1	8.93
地表水	- 72.3	- 55	- 64.47	- 10.41	- 7.56	- 9.28	< 2	16.1	7.63

3.1 温泉氢氧同位素特征

利用表 2 高黎贡山隧道地区温泉、地表水的  $\text{D}$  和  $^{18}\text{O}$  数据,选取昆明地区的大气降水线方程:  $\text{D} = 7.87 \text{ } ^{18}\text{O} + 11.09$ ,绘制高黎贡山地区水的  $\text{D}$  和  $^{18}\text{O}$  关系图,见图 2。

由图可见,温泉水的所有  $\text{D}$ 、 $^{18}\text{O}$  数据点落在当地大气降水线附近,说明该地区的温泉具有大气降水补给的特征,补给来源于大气降水。部分水样的氧同位素有一定的正偏移,表明大气降水补给到地下水含水层后,发生水 - 岩相互作用,水体与含氧岩石发生同位素交换,使得地下水  $^{18}\text{O}$  升高。结合水化学和同位素特征可看出,隧道区温泉为渗入成因的深循环地下水。

3.2 温泉放射性同位素  $^3\text{H}$  特征

氚 ( $^3\text{H}$ ) 是氢元素的放射性同位素,半衰期为 12.43 a。氚在高空生成后,很快同大气中氧原子化合成含氚水分子 ( $\text{HTO}$ ),成为天然水的一部分,并随普通水分子一起,参加水循环。由氚组成的水分子也和其它稳定同位素分子一样,在天然水循环的过程中,打上各种环境因素影响的特征标记,由于它的放射计时性,因而成为水文地质研究中一种重

要的测年技术手段。

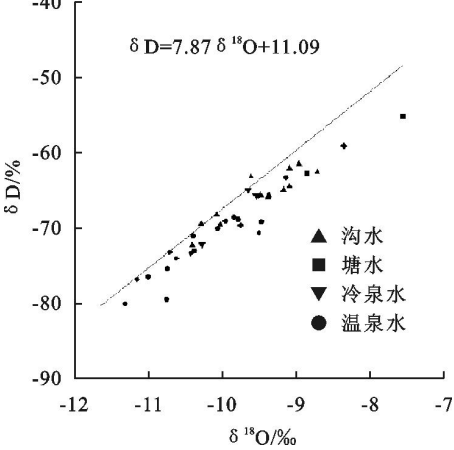


图 2 研究区水体  $\text{D}$  及  $^{18}\text{O}$  关系

用经验法估算地下水年龄,通常是根据地下水是否受到了核爆  $^3\text{H}$  的标记,将地下水的形成时间分为核试验前与核试验后 (下转第 353 页)

3.4 建立城市水土流失地理信息系统,开展动态监测

城市水土保持是一个系统工程,影响因素多,各种数据量大,信息变化快,常规的管理方法难以胜任。应用 RS、GIS 及 GPS 等技术手段,建立区域水土保持信息专业数据库系统,进一步完善水土流失监测技术、分析处理监测结果以及保存管理水土保持综合信息显得必要而迫切。通过水土流失信息数据库系统的设计开发,从而使水土保持工作逐步走向信息技术结合微机网络实现资源管理、动态监测、规划设计、正确决策及联网办公的现代化水平,掌握城市水土保持工作的主动权。

4 结 语

该文以重庆都市为例分析了西南山地城市水土流失的状况、产生的原因及特点,了解到地质、地貌等自然因素在影响山地城市水土流失方面要比平原城市大而且危害也大,治理难度高。限于篇幅的原因对山地城市水土保持的生物、工程措施没有再深入论述。城市水土保持是一项长期、复杂的工作,通过社会各方面的共同努力,运用科学的监测手段,采用生物和工程技术措施,重庆乃至西南部所有山地型城市的水土保持工作必将取得良好的社会、生态效益。

参考文献:

[1] 柴宗新. 城镇侵蚀及其防治[J]. 中国水土保持,1997 (1):29 - 32.

[2] 黄荣珍,张金池,林杰,等. 城市水土保持生态建设思路与对策:以南京市为例[J]. 南京林业大学学报:人文社会科学版,2005,2(5):80 - 84.

[3] 郝天文,孔彦鸿. 城市建设与水土保持[J]. 水土保持通

报,1998,3(18):62 - 65.

[4] 胡庆华,宗兆博,夏海江,等. 辽宁省城市水土流失类型研究[J]. 中国水土保持,2003(4):23 - 26.

[5] 郑东,任明旺. 略论城市水土流失及防治对策[J]. 中国水土保持,2001(9):20 - 23.

[6] 谢汉生,王冬梅,苏新琴. 城市水土流失对城市环境的影响及其对策[J]. 水土保持学报,2002,5(16):67 - 71.

[7] 杨会蒲. 铜川市城市人为水土流失及其防治对策[J]. 中国水土保持,2003(7):34 - 36.

[8] 孙吉生,冯其斌,侯俊华. 铁岭市城市水土流失防治措施与成效[J]. 中国水土保持,2002(9):32 - 34.

[9] 重庆市统计局. 重庆市水土保持公报[Z]. 重庆:统计出版社,2005.

[10] 刘忠喜. 重庆地貌与经济建设[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992:13 - 19.

[11] 苏维词. 三峡库区消落带的生态环境问题及其调控[J]. 长江科学院院报,2004,2(21):32 - 35.

[12] 李文玲,田耀武,郑根宝. 城市森林流失率与水土流失率的探讨[J]. 水土保持通报,2005,2(25):57 - 61.

[13] 赵纯勇,杨华,孔德树. 南方山地丘陵城市水土流失及对策研究[J]. 中国水土保持,2002(6):28 - 31.

[14] 黄广宇,卓慕宁,王继增,等. 珠江三角洲地区城市水土流失治理措施及其效益[J]. 水土保持通报,2001,6(21):77 - 80.

[15] 苏维词,杨华,赵纯勇,等. 三峡库区(重庆段)涨落带土地资源的开发利用模式初探[J]. 自然资源学报,2005,3(20):326 - 331.

(上接第 349 页)

两个年龄段。由于天然情况下大气降水的<sup>3</sup>H 浓度为 10 TU,1953 年以前降雨入渗形成的地下水到取样时间,按照衰变原理,其<sup>3</sup>H 浓度则应小于 0.7 TU。因此若样品的<sup>3</sup>H 浓度小于此值,则其年龄一般认为大于 48 a,若地下水<sup>3</sup>H 浓度大于 0.7 TU,则认为其年龄小于 48 a,即为核爆试验之后形成的。根据法国 J. FT(丰特)的经验估算法认为:

- 0~5 TU 表明 40 a 以前的“古水”成分占优势;
- 5~40 TU 表明新近的入渗水与“古水”之间有混合作用;
- >40 TU 表明新近入渗水占优势。

根据水样测试结果:测定氡含量在 0~5 TU 的地下水占所测水样的 58%,说明高黎贡山隧道地区的温泉水是以 40 a 前的“古水”为主,温泉流出的水是 40 a 以前入渗的地下水;氡含量在 5~15 TU 之间的地下水占所测水样的 42%,这些温泉水为核爆以来补给形成的,是新近的补给水与 40 a 前的“古水”混合,其年龄小于 5~10 a。

3.3 温泉水补给高程的确定

大气降水的氢氧同位素组成具有高度效应,<sup>18</sup>O 地下水补给高程的增加而减小。利用水同位素值可计算高黎贡山隧道地区温泉和其它水体的补给高程。

$$H = \frac{G - P}{K} + h$$

计算取值:计算补给高程取西南地区<sup>18</sup>O 的平均梯度值,即 K = - 0.26‰/100 m,取样点附近大气降水的<sup>18</sup>O 取

为 P = - 7.56,取样点高程 h = 1 300 m。

根据同位素数据计算得出,温泉水的补给高程在 2 000 ~ 2 400 m 范围,与当地地形及高程相吻合,这表明温泉主要由本地区 2 000 m 以上高程大气降水所补给。

4 结 论

- (1)隧道区地下水 TDS 总体较低,属于微矿化热水。水化学类型非常复杂,以 HCO<sub>3</sub> - Na 型水为主。
- (2)高黎贡山隧道区温泉水来源于大气降水入渗补给,补给高程在 2 000 m 以上。大气降水沿着岩石裂隙或断层破裂带,经过地下深部循环和导热断裂带加温,沿断裂带或岩石接触带出,形成温泉。隧道区温泉属于渗入成因型地下热水。
- (3)根据经验法对地下热水 3 H 年龄进行估算,温泉水年龄约为 5~40 a。温泉流出的水以 40 a 前的“古水”为主,也有部分是新近入渗水与“古水”的混合水。

参考文献:

[1] 王恒纯. 同位素水文地质概论[M]. 北京:地质出版社,1991.

[2] 王大纯,张人权,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995.

[3] 高柏,等. 内蒙古东乌旗地区地下水水文地球化学[J]. 干旱区研究,2005,22(4):431 - 435.

[4] 马振民,何江涛. 菏泽凸起地下热水的水文地球化学特征及成因分析[J]. 山东地质,2000,16(2):24 - 30.