

汶川地震小鱼洞活动断裂氦气异常及其水文地质意义

高东东, 吴勇, 陈盟

(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059)

摘要:利用氦气测量的方法标定断裂(裂隙)构造及其开启程度,并反应断裂(裂隙)的水文地质特征是一种有效而且快速的方法。选取小鱼洞活动断裂三个试段进行了氦气(RaA)测量,并利用统计方法对测量数据进行分析,确定研究区氦气的背景值和异常值。根据氦气异常等级对小鱼洞活动断裂开启性进行了划分,并对其水文地质意义进行了讨论。在基岩裂隙地区可用氦气测量技术圈定蓄水构造,从而确定找水的有利孔位。

关键词:氦气测量;活动断裂;水文地质;小鱼洞;汶川地震

中图分类号:P642.27

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)04-0044-06

引言

在断裂带附近,由于岩石破碎,使得岩石中孔隙和裂隙都比较发育,断裂带上方和其周围容易富集和贮存气体,被称为断层气^[1],氦气即是断层气重要成分之一。氦气可从高压区流向低压区(构造破碎带或裂隙),并向地表方向运移。氦的扩散速度的大小主要取决于孔隙度、透水性、湿度、结构和扩散时的温度^[2]。因此,氦气测量常用来研究地下构造,尤其是断裂带。

地震可以使地表形成大量的裂缝及断层错动,断裂带(断层)氦气的测量就开始于地震科学。国家地震局自1983年起有计划、有步骤地引进这项勘探技术,用于研究构造条件,把寻找矿床及地热田的传统方法引入了地震科学研究中^[3-4]。其中较典型的的就是20世纪80年代初引进的FD-3017型便携式测氦仪用于断层氦气观测^[5-6],着重应用于断裂分布位置、规模及其活动性强弱等方面的研究。90年代以来,我国断裂带(断层)氦气测量研究开始增多,研究方向也趋于多样化,包括有:氦气浓度变化因素研究^[5,7-8];利用断层氦射气确定断层走向、倾向的研究^[9];断裂或者隐伏断裂土壤气氦分布关系研究^[10-12];氦测量用于断裂活动性^[13-14]和分段的研究^[14];断层氦灵敏度用于地震活动的研究^[15];也有对各种氦气观测方法的总结性论述^[16]。随着断层氦气研究的不断深入,断层氦气运移数值模拟、正演反演拟合研究随之出现^[3-4]。

“5·12”地震灾区发生断层错动,形成大量地表裂隙,一定程度改变了原有含水层结构,从而改变了水文地质背景条件,比如降雨入渗特征、水力联系、补径排条件等。对小鱼洞活动断裂进行氦气测量,通过分析其氦气异常特征,从而分析其水文地质特征。

1 地质及水文地质背景

小鱼洞地区地处四川盆地西北边缘,润江河上游腹地地带,位于彭州市西北山区32km。该地区东西两面都为轻微切割的中低山,总体地势周围高,中间低,润江两侧300~1000m附近为河流阶地分布区,地势较平坦,灰岩地区有溶洞、落水洞等岩溶地貌发育^[17]。本区属龙门山及四川盆地地层分区,研究区周边出露地层由老到新主要有二叠系(P)、三叠系(T)、第四系(Q);周围构造复杂,构造活动较频繁,存在映秀-白水河、彭灌等推覆构造带及前陆盆地单斜构造带,有众多因推覆、滑覆而形成的天台山、白鹿顶、大鱼洞-小鱼洞等飞来峰构造群。其中小鱼洞活动断裂主要在河谷及阶地中连续发育,在山坡部位形成崩塌、滑坡或者地裂缝,并未见有先存的断裂行迹,张军龙等人据此推断小鱼洞地表破裂带可能是一条新生的断裂^[18](图1)。

研究区地下水类型以第四系松散岩类孔隙水和碎屑岩类裂隙-孔隙水为主;第四系松散岩类孔隙水,主要在狭窄的河流阶地部位呈带状分布,全新统砂卵石层为河流冲洪积堆积层(Q₄^{al+pl}),含水量丰富;中上更

收稿日期:2013-03-15

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40730634);地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主研究课题(SKLCGP2009Z006)

作者简介:高东东(1984-),男,河北张家口人,博士研究生,主要从事环境水文地质研究。E-mail:hydrogeochemistry@126.com.cn

通讯作者:吴勇(1966-),男,汉族,教授,博导,主要从事水文地质研究。E-mail:ywu@cdut.edu.cn

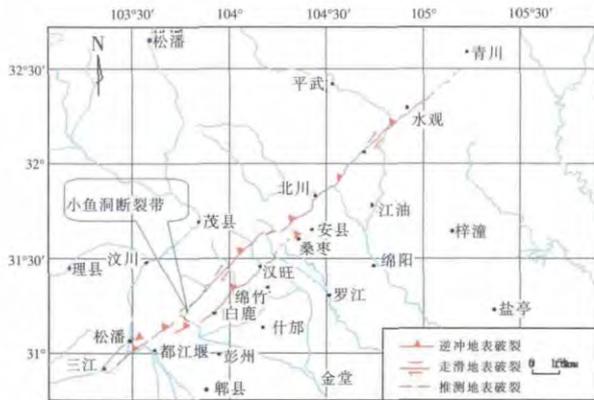


图1 小鱼洞地表破裂带地理位置示意图
Fig.1 Location of the Xiaoyudong active fault

新统砂卵石层为古河流冲洪积层(Q₂₋₃^{al+pl}),含水量较小。第四系覆盖层以下为砂岩页岩裂隙层间水,由三叠系须家河组(T_{3x})组成的弱含水(透水)层,地下水主要是层间运动。小鱼洞地区降水充沛,平均降水量可达1250mm,地表径流丰富,为地下水补给的丰富来源;山区河谷切割深,地形陡峭,成为良好的地表径流条件;区内地层出露较多,基岩由于构造、风化、溶蚀等作用裂隙发育,地表残坡积、崩坡积等松散堆积层分布广泛,植被茂密,平原河渠密布,砂卵石层被切割,为地下水提供了良好的渗透条件^[17]。主要的排泄方式有大气蒸发(包括植物蒸腾)、泉水、人工排泄等。研究区地下水化学类型较简单,以HCO₃-Ca型水为主,矿化度一般小于1g/L。

2 测量原理及方法

氡是深部地下的放射性元素铀、钍衰变时产生的一种放射性气体。铀、钍较分散地、或多或少地存在于各类岩石和地下水中,氡气能从含有放射性元素铀的各种岩石中不断向周围介质扩散。由于断裂对岩层的破坏,可使岩石(地层)的局部地段由原来所处的封闭系统状态,变成非封闭状态,因而压力降低,溶于水中的氡、铀等放射性元素随同地下水从高压区流向低压区(构造破碎带或裂隙),并向地表方向运移。因此在断裂破碎带的上方常常存在着氡(RnA)的异常。

本次测试采用FD-3017RaA型瞬时测氡仪。其测量对象是氡衰变的第一代短寿子体RaA。仪器能在-10℃~40℃环境下及相对湿度<95%的气候条件下正常工作,记数误差≤10%。抽气泵抽入地下气体后,经2min的高压加电后,放入由金硅面垒型半导体探测器测量2min,得到RaA产生的α脉冲计数(N_{RaA}),其强

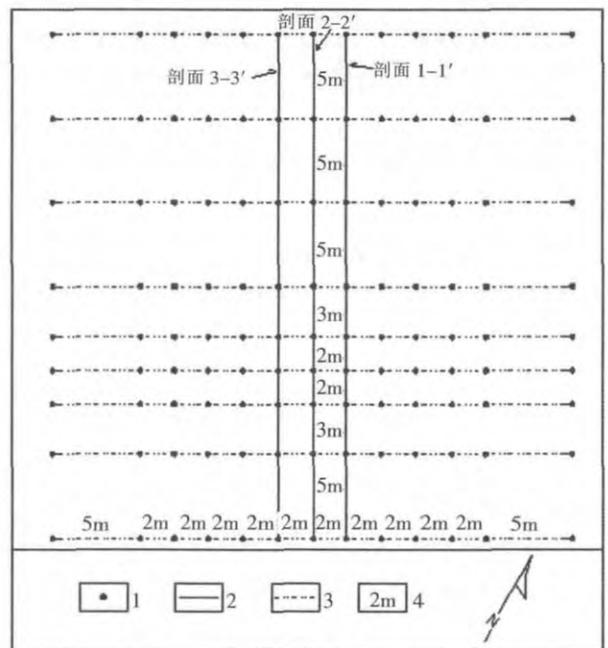
度与氡浓度(C_{Rn})成正比(公式(1))。

$$C_{Rn} = k \cdot N_{RaA} \quad (1)$$

式中:C_{Rn}为氡气浓度;k为比例系数;N_{RaA}为RaA脉冲数。

3 测网布置

在小鱼洞活动断裂上,选取位于I级阶地、II级阶地、III级阶地三个测量段,每个测量段均以断裂带为中线,测点采用网格布置(图2),共测量228个点,各测量段平面布置图见图3。



1.氡气测点;2.小鱼洞断裂带;3.垂直剖面;4.测点间距

图2 氡气测点平面布置示意图
Fig.2 The radon measurement points



图3 各氡气测试段位置分布示意图
Fig.3 Location of the three test sections

4 氡气异常等级划分

4.1 氡气(RaA)背景值

对三个测段的实测数据进行统计分析,以确定其背景值和异常值,并且对氡气测量值进行分级。全部数据的算术平均值($M_{平均}$)为44.25,标准偏差(σ)为39.46,变异系数为0.89,将算术平均值加上或减去1倍的 σ 数值范围($M_{平均} \pm \sigma$),即4.79~83.71,作为研究区氡气正常值范围,超出此范围的数值均视为异常,用剔除异常值后的169个数据作为统计样本,其算术平均值($N_{平均}$)为31.43,即为背景值,标准偏差(σ')为22.94,变异系数为0.73。在低放射性背景区域(如沉积岩区),氡气背景值一般不超过40,断层、滑坡等引起的地表氡异常多为背景值的2~3倍^[19],本次研究背景值确定合理。

4.2 氡气异常等级划分

根据统计方法将氡气测量数值异常分为四级,见表1。

表1 断裂带氡气异常划分标准
Table1 Partition standard of Rn abnormality on the fault

| 氡气(RaA)异常划分标准 | RaA 数值范围 | 异常等级 |
|---|--------------|------|
| $N < N_{平均} + \sigma'$ | <54.37 | 正常 |
| $N_{平均} + \sigma' < N < N_{平均} + 2\sigma'$ | 54.37~77.33 | 偏高 |
| $N_{平均} + 2\sigma' < N < N_{平均} + 3\sigma'$ | 77.33~100.25 | 异常 |
| $N > N_{平均} + 3\sigma'$ | >100.25 | 高异常 |

5 氡气异常解释

5.1 氡气异常与断裂带(裂隙)开启程度

由于破碎带是氡气释放及运移的良好条件,深部的氡气及其子体可运移至地表,排除研究区有U和Th沉积的情况下,氡气浓度与断裂(裂隙)的开启性有关,也反应了裂隙系统的丰富程度。

根据氡气异常分级将断裂(裂隙)的开启性划分为三个等级,氡气异常等级为正常,断裂带开启程度低;氡气异常等级为偏高-异常,断裂带开启程度中等;氡气异常等级为高异常,断裂带开启程度高(表2)。

表2 断裂带开启程度判断
Table2 The fault (or fracture) opening judgment standard

| 划分标准 | RaA 数值范围 | 断裂带开启程度 |
|--|--------------|---------|
| $N < N_{平均} + \sigma'$ | <54.37 | 低 |
| $N_{平均} + \sigma' < N < N_{平均} + 3\sigma'$ | 54.37~100.25 | 中 |
| $N > N_{平均} + 3\sigma'$ | >100.25 | 高 |

5.2 氡气(RaA)剖面曲线异常解释

将3个测段小鱼洞断裂中心位置(0m)、断裂带两盘($\pm 2m$)出位置的氡气测量结果绘制剖面曲线图(图4~6)。

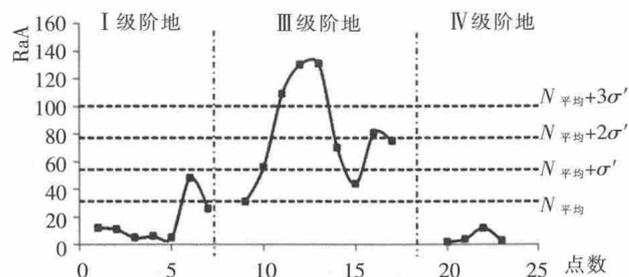


图4 1-1'剖面 RaA 异常曲线图(2m)
Fig.4 Rn curve in 1-1' section(2m)

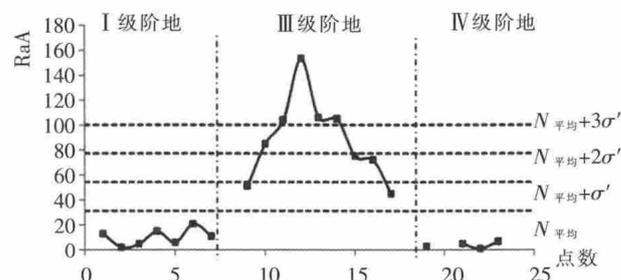


图5 2-2'剖面 RaA 异常曲线图(0m)
Fig.5 Rn curve in 2-2' section(0m)

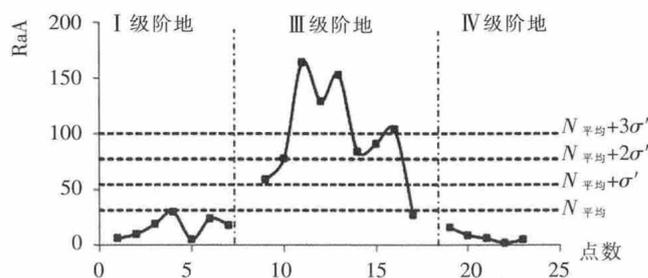


图6 3-3'剖面 RaA 异常曲线图(-2m)
Fig.6 Rn curve in 3-3' section(-2m)

整体上,小鱼洞断裂带 I级阶地测段、III级阶地测段氡气值(RaA)均未超过 $N_{平均} + \sigma'$ (54.37),开启程度低,IV级阶地测段在0m、 $\pm 2m$ 位置共有11个测点达到开启程度高,11个测点达到开启程度中等,其余5个测点为开启程度低。开启程度低的断裂地段,有效孔隙度小,氡气向地表运移能力差;开启性逐渐增加,有效孔隙度变大,氡气运移能力逐渐增加。

5.3 氡气(RaA)等值线图平面异常解释

断裂带开启程度越大,周围裂隙系统越发育,甚至

产生分支断裂或裂隙,作出三个测段的 RaA 等值线图,并标出可能的裂隙系统或分支断裂。

级阶地测段,整体 RaA 值都未超过正常值(54.37),整体上断裂带开启程度低,周围裂隙系统不发育(图 7); 级阶地测段,主断裂带中心位置开启程度高,该段向周围延伸开启程度由高逐渐降低,其中,断裂带上盘裂隙发育强烈(图 8); 级阶地测段,整体 RaA 值均较低,整体上断裂带开启程度低,周围裂隙系统不发育(图 9)。断裂带不同阶地地段之间、同一地段不同位置之间,断裂带及其裂隙系统开启程度均不同。

断裂带开启程度越高,有效孔隙度越大,降雨入渗及导水能力越大,开启程度降低,地表入渗补给能力、断裂带导水能力也随之降低。 级阶地测段对该地段地下水的补给作用有重要意义,增加了该地段降雨入渗补给量以及农田灌溉入渗补给量(表 3)。

表3 断裂带开启程度与水文地质特征
Table3 Fault opening and its hydrogeological characteristics

| 断裂带开启程度 | 断裂带水文地质特征 |
|---------|--------------------------|
| 低 | 裂隙系统不丰富,有效孔隙度小,入渗、导水能力低 |
| 中 | 裂隙系统中等丰富,有效孔隙度中,入渗、导水能力中 |
| 高 | 裂隙系统丰富,有效孔隙度大,入渗、导水能力高 |

在构造裂隙带中,由于岩石破碎,裂隙发育,造成了岩石孔隙度增加,岩石的射气能力亦相应增强。小鱼洞活动断裂长约 6km,运动性质以左旋走滑-逆冲为主,地表特征表现为隆起、鼓包、裂缝、错动等,但由于地表为第四系覆盖层,小鱼洞断裂带周边裂隙分布或分支断裂特征不清楚,利用氦气(RaA)异常等级评价其断裂及裂隙开启程度并标定主断裂、周围裂隙或分支断裂的分布是一种简单有效的方法。放射性的氦容易从破碎带、裂隙带、断裂带逸出,可以利用氦气测量寻找隐伏断裂、裂隙等构造,从而确定蓄水构造。

地震造成的小鱼洞断裂带不同地段开启程度不同,岩土体的有效孔隙度也会发生变化,在地表可表现为降雨入渗补给系数的变化,因此在一定条件下断裂及裂隙的开启程度反应了断裂附近入渗补给系数分区变化,这种变化可利用配套的入渗试验、充电法流速流向试验进一步的验证与探讨。

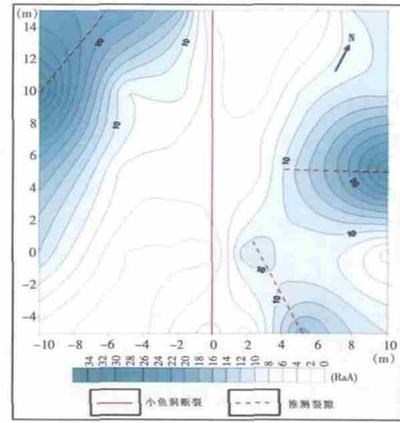


图 7 I 级阶地测段 RaA 等值线图

Fig.7 RaA contour of the first terrace test section

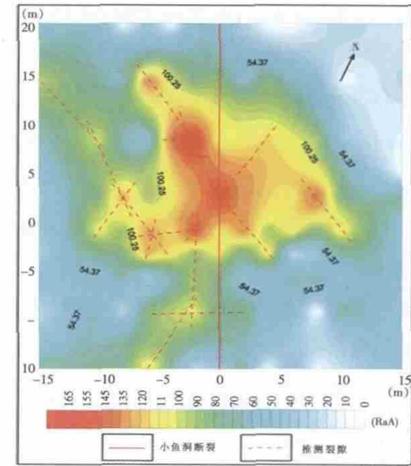


图 8 III 级阶地测段 RaA 等值线图

Fig.8 RaA contour of the third terrace test section

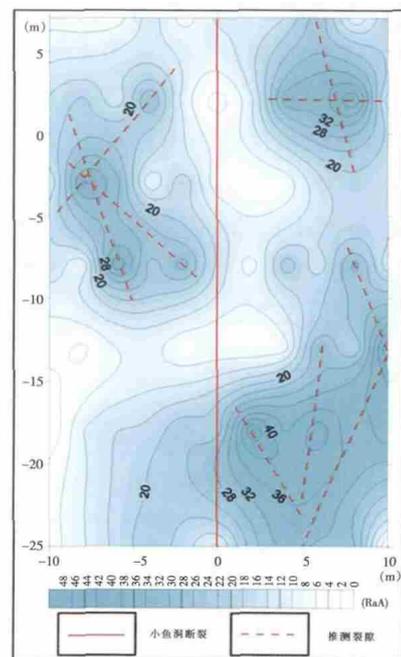


图 9 IV 级阶地测段 RaA 等值线图

Fig.9 RaA contour of the forth terrace test section

6 结语

测量活动断裂上部氡(R_n)射气浓度可以间接反映地质体的裂隙系统的情况,并可分析其开启度、连通性及破碎程度,从而反应活动断裂的水文地质特征。断裂带及其裂隙系统开启性特征可能影响断裂带周围降雨入渗补给过程、地下水径流强度,甚至是局部流场;开启程度、氡气运移能力、岩土体入渗能力、导水能力关系密切;活动断裂上下盘的渗透系数不同,则地下水流场(流线)会发生转向,活动断裂也可能形成新的地下水边界条件。

通过本次研究可得出以下认识:

(1)利用氡气测量判断断裂带(裂隙)的开启程度是非常有效的,氡气值(R_{aA})的大小可以一定程度上反映断裂及裂隙的开启性,开启程度高低也反应了降雨入渗能力的高低。

(2)利用氡气(R_{aA})等值线图标定主断裂周边的裂隙发育系统也是非常有效的方法,尤其是在地表有覆盖层的情况下。

(3)寻找断裂(裂隙)控制型含水层,利用氡气测量的方法标定断裂构造及其开启程度是一种有效而且快速的方法。因此,氡气测量技术可以用于圈定蓄水构造,从而确定找水的有利孔位。

龙门山断裂带地质构造复杂,构造断裂和褶皱极为发育,地下水系统极其复杂,其中断裂构造是裂隙岩石地质特征中控制裂隙水赋存的重要因素之一。目前,对断裂带水文地质意义的研究主要集中在断裂带的导水、阻水、充水等特征,但是,断裂构造的构成、组合方式及其对地下水赋存的影响机理至今没有全面深入系统的研究。影响裂隙水赋存的关键因素是断层的结构体系,确定断裂中心带、裂隙带、断层两盘以及断层围岩的水文地质特征,通过对断层控制型含水层特征的深入分析,可以提高对该类含水层中地下水的赋存与运动的认识与评价。氡气测量技术可以成为一种重要的方法。

参考文献:

- [1] 国家地震局科技监测司. 地震地下水手册 [M]. 北京:地震出版社, 1995. (Science and Technology Department of National Earthquake Administration. Manual of Seismic Groundwater [M]. Beijing: Seismological Press, 1995. (in Chinese))
- [2] 章晔,华荣洲,石柏慎. 放射性方法勘察 [M]. 北京:原子能出版社, 1990. (ZHANG Ye, HUA Rongzhou, SHI Baishen. The Radioactive Method Survey [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1990. (in Chinese))
- [3] 刘菁华. 活断层上覆盖层中氡迁移的数值模拟及反演拟合 [D]. 吉林:吉林大学, 2006. (LIU Jinghua. Numerical Simulation, Inversion Fitting of Radon Migration in the Overburden above Active Fault [D]. Jilin: Jilin University, 2006. (in Chinese))
- [4] 王晓丽. 活断层上覆盖土壤中氡气运移正演问题研究 [D]. 吉林:吉林大学, 2007. (WANG Xiaoli. A Forward Study of Radon Gas Migration in Soil Overburden above Fault [D]. Jilin: Jilin University, 2007. (in Chinese))
- [5] 许秋龙,王道,张洪斌,等. 应用断层气氡进行地震检测预报[J]. 内陆地震, 1997, 11(2):160-167. (XU Qiulong, WANG Dao, ZHANG Hongbin, et al. Applying fault gas radon to earthquake monitoring and prediction[J]. Inland Earthquake, 1997, 11(2):160-167. (in Chinese))
- [6] 王瑞平,王建新. 阿克苏断层气氡资料映震能力及检验[J]. 内陆地震, 2001, 15(3):275-280. (WANG Ruiping, WANG Jianxin. Earthquake-reflecting ability of fault product radon in Akesu, Xinjiang and its check [J]. Inland Earthquake, 2001, 15(3):275-280. (in Chinese))
- [7] 王艳,李德成. 库尔勒断层氡气观测及观测资料分析初探[J]. 内陆地震, 1998, 12(1):73-77. (WANG Yan, LI Decheng. Observation and data analysis of fault product gas R_n in Kuerle [J]. Inland Earthquake, 1998, 12(1):73-77. (in Chinese))
- [8] 李德成. 库尔勒断层氡气观测实验研究 [J]. 内陆地震, 1999, 13(3):238-242. (LI Decheng. Study on experiments of fault gas radon observation in Kuerle [J]. Inland Earthquake, 1999, 13(3):238-242. (in Chinese))
- [9] 刘西林,华爱军. 地震监测预报研究 [A]. 汪成民,李宣瑚,魏柏林. 断层气测量在地震科学中的应用[C]. 北京:地质出版社, 1991:136-143. (LIU Xilin, HUA Aijun. Earthquake monitoring and prediction research [A]. in: WANG Chengmin, LI Xuanhu, WEI Bailin. Application of Fault Gas Measurement in Earthquake Science [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:136-143. (in Chinese))
- [10] 李志中,赵长英. 大同侏罗系煤盆地遥感解译断层的氡气测量验证研究 [J]. 同煤科技, 1994, (3):22-26. (LI Zhizhong, ZHAO Changying. Validate study on remote sensing interpreted fault by R_n gas measurement in Jurassic coal basin, Datong [J]. Datong Coal Mining Science and Technology, 1994, (3):22-26. (in Chinese))
- [11] 张晚霞,向宏发,李如成. 夏殿隐伏断裂土壤气氡分布特征的初步研究 [J]. 西北地震学报, 1995, 17(2):46-50. (ZHANG Wanxia, XIANG Hongfa, LI Rucheng. Preliminary study on soil-Radon distribution along the Xiadian buried fault [J]. Northwestern Seismological Journal, 1995, 17(2):46-50. (in Chinese))
- [12] 孙如波. 五大连池火山区土氡分布特征与断裂关系的初探 [J]. 东北地震研究, 1997, 13(3):73-77. (SUN Rubo. Primary research on relation between soil radon distribution and faults in Wudalianchi volcanic region [J]. Seismological Research of Northeast China, 1997, 13(3):73-77. (in Chinese))
- [13] 张骏,陈晓东,程谦恭,等. 温泉水库坝址区断裂活动性氡气测量成果分析评价[J]. 高原地震, 1996, 8(3):22-29. (ZHANG Jun, CHEN nese))

- Xiaodong, CHENG Qiangong, et al. Analysis of the radon survey of fault activity in the Wenquan reservoir dam location [J]. *Earthquake Research in Plateau*, 1996, 8(3): 22–29. (in Chinese)
- [14] 孟广魁, 何开明, 班铁, 等. 氡、汞测量用于断裂活动性和分段的研究 [J]. *中国地震*, 1997, 13 (1): 43–51. (MENG Guangkui, HE Kaiming, BAN Tie, et al. Study on activity and segmentation of active fault using measurements of radon and mercury gases [J]. *Earthquake Research in China*, 1997, 13(1): 43–51. (in Chinese))
- [15] 黄戌辰. 断层气氡灵敏度“穴位”的试验研究 [J]. *华北地震科学*, 1997, 15 (4): 50–56. (HUANG Xuchen. A test study of sensitive ‘acupoint’ of fault gas radon [J]. *North China Earthquake Sciences*, 1997, 15(4): 50–56. (in Chinese))
- [16] 刘太平, 史良骥. 断层土壤氡观测方法的综合应用 [J]. *四川地震*, 1998, (3): 59–64. (LIU Taiping, SHI Liangyi. Synthetic application of observation method of soil radon [J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 1998, (3): 59–64. (in Chinese))
- [17] 高东东. “5.12”地震活动断裂水文地质特征及其对地下水系统划分的影响研究—以小鱼洞地区活动断层为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011. (GAO Dongdong. Hydrogeological Characteristics of Active Fault Caused by Wenchuan Earthquake and Its Impact on the Groundwater System Division with a Case Study of Xiaoyudong Area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011. (in Chinese))
- [18] 张军龙, 申旭辉, 徐岳仁, 等. 汶川 8 级大地震的地表破裂特征及分段 [J]. *地震*, 2009, 29(1): 149–163. (ZHANG Junlong, SHEN Xuhui, XU Yueren, et al. Surface rupture features and segmentation of the MS 8.0 Wenchuan earthquake [J]. *Earthquake*, 2009, 29(1): 149–163. (in Chinese))
- [19] 王卫, 吴勇, 刘华军, 等. 测氡在滑坡研究中的应用 [J]. *工程地质学报*, 2003, 11 (3): 307–311. (WANG Wei, WU Yong, LIU Huajun, et al. Application of Radon measurement to study of landslide [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2003, 11(3): 307–311. (in Chinese))

Abnormality of Rn in Active Fault Caused by Wenchuan Earthquake and Its Hydrogeological Meaning

GAO Dongdong, WU Yong, CHEN Meng

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Radon measurement, which is used to demarcate the fault (or fracture) and its opening degree, and to evaluate its hydrogeological characteristics, is an effective and quick way. RnA (daughter of Rn) concentrations were measured at three test sections in Xiaoyudong active fault. On the basis of a statistical analysis of the acquired radiometric data, background value and abnormal value of Rn gas were determined. The active fault was classified into different openings, and its hydrogeological meaning was discussed. This work can be used to delineate the location of groundwater resources in fractured-rock aquifers and to select the borehole sites for water supply purposes.

Key words: Radon measurement; active fault; hydrogeology; Xiaoyudong area; Wenchuan Earthquake

—————
(上接第 36 页)

Influence of Time Scale on Baseflow Separation of Reservoir Inflow

DAI Junfeng¹, HAN Peili^{1,2}, FANG Rongjie¹, ZHENG Yulin³, GUAN Baoduo¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Beijing Xinshuiyuanjing Technology Co., LTD, Beijing 100070, China;

3. Management Station of Qingshitan Reservoir Irrigation District, Guilin 541000, China)

Abstract: A small watershed, the catchment of the Yangshudang reservoir, in Zhanghe irrigation area located in Hubei Province and the catchment of the Qingshitan reservoir in Guangxi Zhuang Autonomous Region were selected as the study area. And the digital filter technology was used to the baseflow separation for the runoff based on the daily inflow runoff of the Yangshudang reservoir and the monthly inflow runoff of the Qingshitan reservoir. The results show that the baseflow index Fr increase along with the growing of the time scale. The baseflow index Fr of daily runoff is smaller than that of ten days and monthly runoff in catchment of the Yangshudang reservoir, and the baseflow index Fr of monthly runoff is smaller than that of seasonal and annual runoff in the Qingshitan reservoir. Also baseflow index Fr of inflow runoff in the Yangshudang reservoir, a non-karst area is smaller than that in the Qingshitan reservoir.

Key words: inflow runoff; baseflow; digital filter technology; time scale