

基于小波分析的抚松县 降水量变化对矿泉水资源量的响应研究

高月¹, 卞建民¹, 宋超², 丛璐³

(1. 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130021; 3. 黑龙江省地质环境监测总站, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:大气降水是抚松县矿泉水资源的重要补给来源,探究其变化规律及极值概率对泉流量是否能够得到持续补给具有重要意义。为此,首先利用1960~2013年的降水资料和1981~2008年部分泉流量观测数据,对抚松县降水量的年内分配、年际变化和不同年代降水量均值变化进行降水特征分析;之后,运用皮尔逊型模型分析最大年降水量的概率分布;接着,利用1981年7月~2008年11月期间降水量和部分泉的泉流量监测数据,采用连续小波分析法对二者周期进行分析;最后,运用交叉小波变换法对同一时段内降水量和泉流量多时间尺度变化的相关性进行分析。结果表明:1960~2013年的54年间,研究区内年降水量呈现周期性变化,变差系数为 1.017×10^{-17} ,降水稳定,未发生异常变化。降水量和泉流量均存在约11个月的主震荡周期,二者属于同相位(即泉流量对降水量的变化产生即刻反应),降水量作为本区矿泉水补给的重要影响因素,可为矿泉水资源得到有效补给提供保证。

关键词:抚松县;降水量;泉流量;周期;连续小波;交叉小波;多时间尺度

中图分类号:P641.74

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)02-0035-06

1 引言

随着全球水资源短缺、水污染的加剧,饮水安全越来越受到人们的重视,成为全球关注的热点问题之一。人们对饮用水的要求也越来越高,天然矿泉水以其“天然、纯净、安全、卫生”的特点日益受到人们的青睐,市场对饮用天然矿泉水的需求量也与日俱增^[1]。

目前,关于长白山矿泉水方面的研究成果较多。2013年,张楠^[2]在对靖宇县自然保护区矿泉水补给机理研究中,通过氦、氧同位素分析的方法提出了靖宇县矿泉水主要来自大气降水入渗补给,危润初^[3]在对靖宇县国家自然保护区天然矿泉水形成机理的研究中,采用正反向水文地球化学模拟相结合的方法,提出了矿泉水特征组分主要来自玄武岩中矿物组分的溶解作用;同年,陶勇^[5]在“吉林长白山天然矿泉水抚松县饮用水水源地保护区研究”一文中,对抚松县天然矿泉水形成因素与赋存条件进行了分析,并对保护区内矿泉水

化学特征、水质及水资源量进行了评价;刘亚文^[4]提出了山区地下水的补给源主要为大气降水入渗补给。根据以上学者的研究成果可以得出:山丘区大气降水入渗补给地下水的过程中,同水流路径上的岩石矿物组分发生反应,形成了地下水中特有的组分,降水量的多少也直接影响地下水资源量的丰沛程度。

抚松县地处长白山自然保护区核心地带,是松花江的发源地,得天独厚的自然地理环境储存了丰富的天然矿泉水资源,是我国少有的优质天然矿泉水资源聚集地。矿泉水品种具有多样性,含有锂、锶、钒等20多种有益人体健康的微量元素^[5]。截至2014年,矿泉水水源总数为45处,已有3家大型矿泉水生产企业相继落户抚松县,从而使该区矿泉水开发利用程度加大。因此,矿泉水资源是否能够持续利用以供长时间开采成了矿泉水开发企业及当地政府日益关注的问题^[1]。

连续小波分析方法可以直观地揭示出隐藏在时间序列中的周期信息,从而表现系统在不同时间尺度下

收稿日期:2015-05-13

基金项目:国家自然科学基金项目(41072255)

作者简介:高月(1992-),女,吉林长春人,硕士研究生,研究方向为地下水资源评价及保护研究。E-mail: gaoyue13@mails.jlu.edu.cn

通讯作者:卞建民(1968-),女,吉林长春人,教授,研究方向为水资源评价与管理、水循环变异的环境与生态效应、水环境评价与模拟。

E-mail:bianjianmin@126.com

的变化规律,并对系统未来发展趋势进行定性分析。交叉小波变换由连续小波分析发展而来,可以进一步揭示两个时间序列的相关性,交叉小波变换目前已广泛应用在天文学、气象、医疗等领域。

迄今为止,针对抚松县降水量与泉流量的相关性研究尚且不足。为此,本文以抚松县降水量与矿泉水资源量为研究对象,通过整理研究区近 50a 的降水量数据和部分泉的流量动态监测数据,应用 Matlab 编程软件采用小波分析方法对降水特征、泉流量变化特征以及二者的相关性进行分析^[6],旨在为该区持续开发、利用和保护矿泉水资源提供重要理论依据。

2 研究区背景

抚松县位于吉林省东南部,地处长白山的西北麓、松花江上游,是长白山的核心区域。研究区属北温带大陆性季风气候,其东部天池附近接近寒温带,无霜期短,冻结期长。多年平均气温 3.3℃,降水多集中于 6~8 月,占全年降水量的 60%左右,多年平均蒸发量为 1291.7mm。抚松县水利资源丰富,河流众多,水网密集,均属松花江水系。其中,泉阳镇以南的河流属头道松花江水系,以北属二道松花江水系。头道松花江发源于长白山脉望天鹅峰北侧,长 233km,流域面积 7 910km²,河道平均坡降 3.2‰,境内主要支流有汤河、漫江、锦江、松江河、泉阳河和万良河等;二道松花江发源于长白山天池北坡,长 292km,流域面积 10 690km²,境内主要支流有露水河、头岔河、砬子河等。

区内地下水的形成与赋存主要受区域地质、地貌条件控制。依据地下水的赋存与埋藏条件、水力特征及水理性质,可划分为玄武岩类孔隙裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙溶隙水和基岩裂隙水^[7]。岩石中原生及次生孔隙裂隙发育,且连通性好,为地下水循环创造了良好条件,加之所处地形相对较低,有利于地下水的补给和赋存,形成了研究区的富水地段^[8]。由于区内玄武岩孔隙裂隙发育程度存在差异性,导致富水性不均,因此在接受降水入渗补给后,多以泉的形式向河谷径流排泄。因此,该区水文地质条件为大气降水入渗补给地下水提供了良好的条件^[9-10]。

3 数据来源及方法

3.1 数据来源

本次研究借助“中国气象科学数据共享服务网”,下载了抚松县东岗水文站 1960~2013 年逐月、逐年的

降水序列资料,对区内降水变化规律进行了分析。同时整理了由长白山天然矿泉水抚松水资源保护区管理局提供的 1981 年 7 月~2008 年 11 月期间部分泉的月流量监测数据,其中包括明水泉、前川泉、马鞍泉、白溪泉、锦江 2 号泉及老岭泉共计 6 个泉的流量监测数据。

3.2 数据分析方法

3.2.1 连续小波变换(CWT)理论^[11-12]

小波分析是在傅氏变换的基础上引入窗口函数,自 20 世纪 80 年代中期以来得到了迅猛的发展,并在信号处理、计算机视觉、图像处理、语音分析与合成等众多的领域得到应用^[13-14]。

连续小波变换(有时也称为积分小波变换)定义为:

$$WT_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad a \neq 0 \quad (1)$$

3.2.2 交叉小波变换(XWT)理论

它是基于连续小波变换发展而来的分析两时间序列多尺度关系的方法,该方法假设两时间序列 X_n 和 Y_n 的连续变换的结果分布为 $W_n^X(s)$ 和 $W_n^{Y*}(s)$ ^[15-16],则交叉小波谱定义为:

$$W_n^{XY} = W_n^X(s) W_n^{Y*}(s) \quad (2)$$

式中:* 为复共轭,对应交叉小波功率为 $W_n^{XY}(s)$ 。

3.2.3 皮尔逊型^[12]分布

皮尔逊型曲线是一条一端有限一端无限的不对称单峰、正偏曲线,数学上常称伽玛分布,其概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x-a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (3)$$

式中: $\Gamma(\alpha)$ 为 α 的伽玛函数; α, β, a_0 为 3 个参数。3 个参数确定以后,该密度函数随之确定。可以推证,这 3 个参数与总体的 3 个统计参数均值 \bar{x} 、变差系数 C_v 和 C_s 偏态系数具有下列关系:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{4}{C_s^2} \\ \beta = \frac{2}{\bar{x} C_v C_s} \\ a_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) \end{cases} \quad (4)$$

频率分析需要的是频率曲线,也就是要知道相应于指定频率($P\%$)的数值 x_p ,从下式确定:

$$P = P(x \geq x_p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x-a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (5)$$

4 结果讨论

4.1 降水特征分析

4.1.1 降水年际变化

由图 1 可知,1960~2013 年的 54a 间,年降水量变化范围为 574.2~1190.8mm, 呈现周期性变化趋势,于 1986 年年降水量达到了最大值 1190.8mm,1978 年最小值 574.2mm,年均降水量为 827.88mm,年降水量值低于 600mm(枯水年)的占 1.85%,600~800mm(平水年)占 48.1%,800~1000mm(平水年)占 38.9%,高于 1000mm(丰水年)占 11.1%,由统计结果可知,枯水年与丰水年所占比例较小,各年降水分布较为平稳。

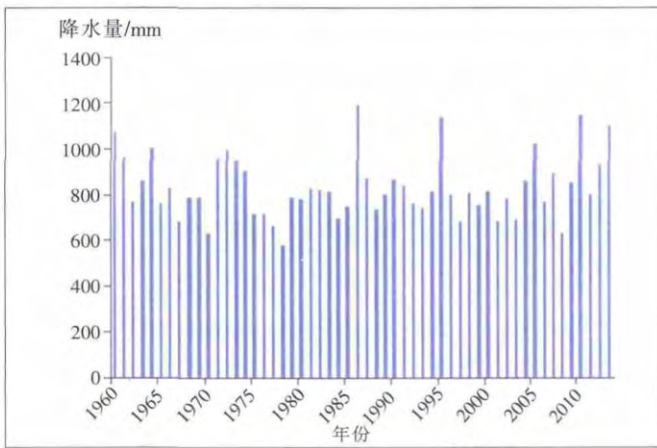


图 1 抚松县多年降水量分布图

Fig.1 The distribution of the annual precipitation in Fusong county

通过计算年降水量变差系数 C_v 和丰枯极值比^[17]可知,1960~2013 年间,最大年降水量与最小年降水量比值为 2.07,54a 年降水量变差系数为 1.017×10^{-17} ,该计算结果值较小,说明抚松县降水年际变化程度小,降水稳定,可对该区地下水进行持续补给。

4.1.2 极值降水概率分布

气候灾害中,一类灾害为一些极端的气候事件,如百年一遇的特大暴雨等。这类灾害的特点是重现期很长,发生几率较小,可如果一旦发生,其可能造成的损害则往往是毁灭性的。推断这类灾害可能出现的气候极值,也是一些重大工程设计的依据。一些工程具有重大经济价值或关系到人民的生命安全,必须具有抗御极端恶劣气象灾害袭击的能力^[18]。

通过统计抚松县 1960~2013 年最大年降水量,使用皮尔逊 III 型分布对它们进行极值计算,估计极大值降水量概率。

采用最小二乘法确定参数 C_v 、 C_s 值,根据降水样

本资料计算出最大年降水量均值,求得降水量的频率,结果如图 2 所示。

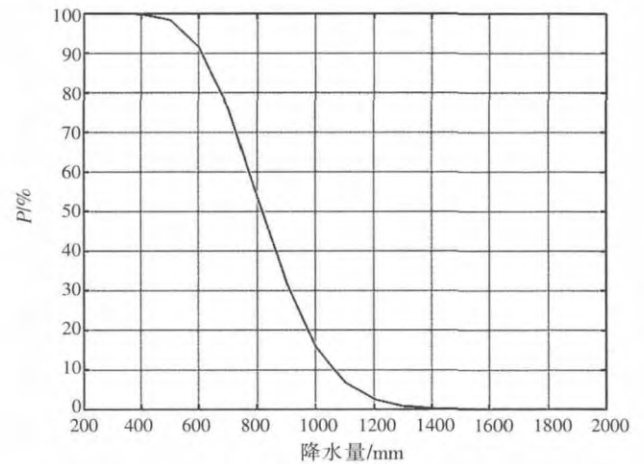


图 2 降水量频率分析

Fig.2 Analysis of the precipitation frequency

表 1 最大年降水量的皮尔逊 III 型分布的设计值
Table 1 The design values of Pearson III Model distribution of the maximum value the of the annual precipitation

概率 P/%	0.17	0.25	0.84	2.55	6.83	15.92	31.81
最大年降水量/mm	1 600	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900

由表 1 中皮尔逊 III 型分布计算结果可知,抚松县 10 年一遇最大降水量为 1 040mm 左右,50 年一遇最大年降水量为 1 240mm 左右,百年一遇最大年降水量为 1 280mm 左右,400 年一遇最大年降水量为 1 400mm。总体来看,该区发生极值降水的概率很低,降水将不会对矿泉水补给产生剧烈变化。

4.2 降水量与泉流量周期分析

为了避免因矿泉水资源量开采而引起该区泉流量衰减,甚至干涸,水温变化、水质恶化等环境地质问题,利用 1981 年 7 月~2008 年 11 月共计 196 个月的降水量和泉流量观测数据,采用连续小波变换法,分别对明水泉、前川泉、马鞍泉、白溪泉、锦江 2 号泉及老岭泉的降水量和泉流量变化周期进行分析,并将同一时段内降水量震荡周期与泉流量震荡周期进行对比,其中白溪泉、锦江 2 号泉、老岭泉及明水泉的连续小波分析结果如图 3 所示。图中红色和蓝色分别表示能量密度的峰值和谷值,反映出主导波动组分时频变换的局部性和动态性特征,颜色深浅表示能量密度的相对变化,黑色粗实线圈闭的值通过了 95%置信水平的红噪声检验,黑色细实线下方锥形区域为小波影响锥(COI),表示连续小波变换数据边缘影响较大的区域。

图 3(a)、(b)、(c)、(d)分别为白溪泉、锦江 2 号

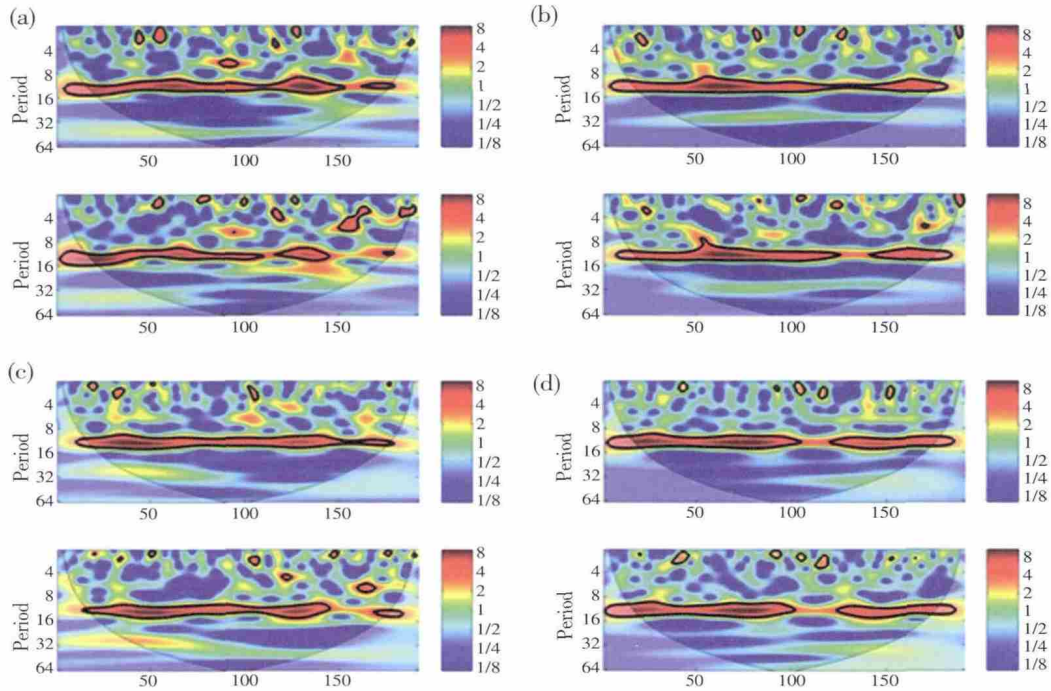


图3 降水量与泉流量 196 个月中连续小波变换

Fig.3 The continuous wavelet of the precipitation and spring discharge in 196 months

泉、老岭泉及明水泉 196 个月中的降水量(上图)和泉流量(下图)的连续小波变换结果。连续小波变化结果表明,降水量和泉流量均存在约 11 个月的主震荡周期,通过了 95% 的红噪声检验,具有显著的频域周期特性,可见降水量与泉流量的时间序列存在相关性。

4.3 降水量与泉流量相关性分析

利用 1981 年 7 月~2008 年 11 月共计 196 个月降水资料及白溪泉、锦江 2 号泉、老岭泉及明水泉的泉流量数据,采用交叉小波变化法对降水量和泉流量二者的响应关系进行分析,结果如图 4 所示。

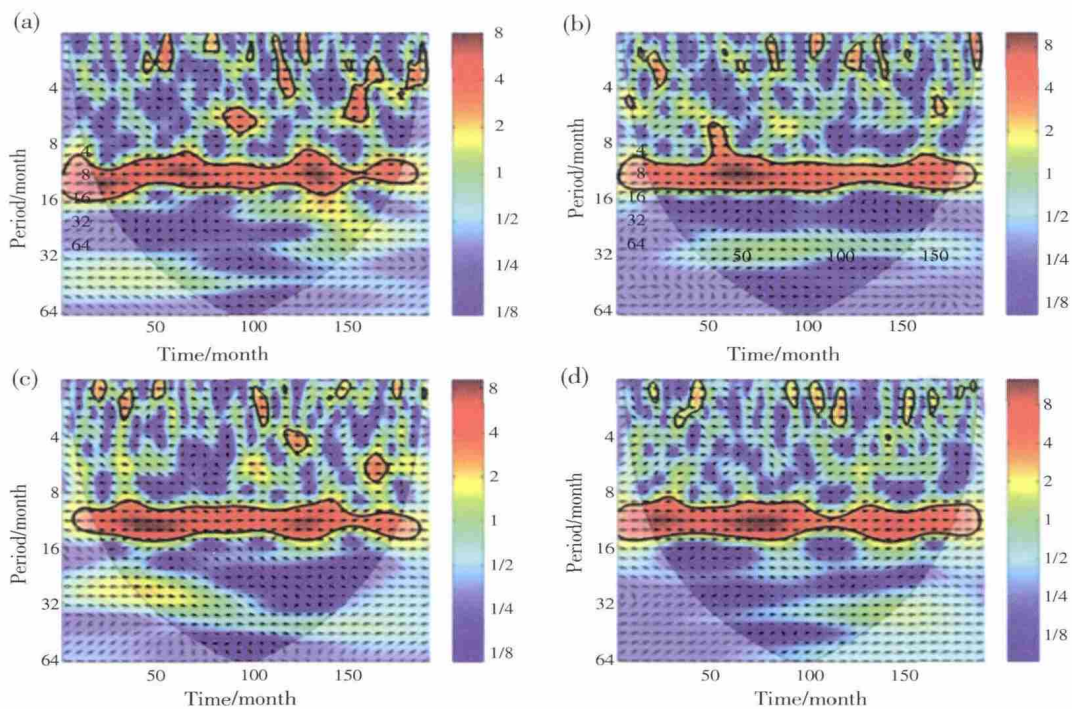


图4 降水量与泉流量 196 个月中交叉小波分析

Fig.4 The cross wavelet of the precipitation and spring discharge in 196 months

图4中右侧的色阶柱代表了交叉小波功率谱的密度,箭头的方向反映了两者的相位关系:从左向右的箭头表示降水量和泉流量二者同相位,从右向左的箭头表示二者相位相反,垂直向上的箭头表示泉流量变换提前降水量 $1/4a$,而垂直向下的箭头表示降水量变换提前泉流量 $1/4a$ 。图4(a)、(b)、(c)、(d)分别为白溪泉、锦江2号泉、老岭泉和明水泉196个月中的降水量和泉流量的交叉小波变换结果。图中,箭头方向是从左向右的,表明降水量和泉流量二者是同相位的,即泉流量对降水量的变化产生即刻反应,二者存在正相关性。由于该区含水层孔洞裂缝发育,降水后可以即刻入渗,进而对泉流量进行补给。因此,交叉小波分析结果与该区实际水文地质条件相符。

5 结论

本研究通过对抚松县降水量年内、年际变化规律,降水量周期、泉流量周期以及二者的周期相关性分析,得出了以下主要结论:

(1)1960~2013年的54a间,年降水量变化范围为574.2~1 190.8mm,呈现周期性变化趋势,枯水年占1.85%,平水年占87%,丰水年占11.1%。降水量的丰枯极值比为2.07,降水量变差系数为 1.017×10^{-17} ,降水年际变化程度小,降水稳定,可对该区地下水进行持续补给。

(2)抚松县10年一遇最大降水量为1 040mm左右,50年一遇最大年降水量为1 240mm左右,百年一遇最大年降水量为1 280mm左右,400年一遇最大年降水量为1 400mm。总体来看,该区发生极值降水的概率很低,降水将不会对矿泉水补给产生剧烈变化。

(3)在1981年7月~2008年11月的196个月中,采用连续小波分析法分别对明水泉、前川泉、马鞍泉、白溪泉、锦江2号泉及老岭泉共计6个泉的降水周期和泉流量周期进行分析,结果表明降水量和泉流量均存在约11个月的主震荡周期,可见两时间序列存在一定关系。

(4)在连续小波分析的基础上,采用交叉小波变换对白溪泉、锦江2号泉、老岭泉和明水泉196个月中的降水量和泉流量的相关性分析,结果表明降水量和泉流量二者是同相位的,即泉流量对降水量的变化产生即刻反应,二者为正相关性。

参考文献:

- [1] 宁波,吴威,孙明哲. 矿泉水市场的现状及发展动向[J]. 农产品加工学刊,2010,7:76-78. (NING Bo, WU Wei, SUN Mingzhe. The status and development of mineral water market[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2010,7:76-78. (in Chinese))
- [2] 张楠. 靖宇矿泉水自然保护区天然矿泉水补给机理研究 [D]. 长春: 吉林大学,2013. (ZHANG Nan. Study on Recharge Mechanism of Nature Mineral Water in Mineral Water Nature Reserve in Jingyu County[D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese))
- [3] 危润初. 靖宇国家级自然保护区天然矿泉水形成机理研究[D]. 长春: 吉林大学,2014. (WEI Runchu. Study on the Formation Mechanism of Natural Mineral Water in Jingyu National Nature Reserve[D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese))
- [4] 刘亚文. 连云港市山丘区浅层地下水资源量评价 [J]. 中国水运, 2007,7(10):182-184. (LIU Yawen. Shallow groundwater resource evaluation in mountain area of Lian Yungang [J]. China Waterway, 2007,7(10):182-184. (in Chinese))
- [5] 李树. 靖宇玄武岩矿泉水中特征组分(HSiO_3^- 、 Sr^{2+})成因的实验研究[D]. 长春:吉林大学,2012. (LI Shu. Experimental Study of the Characteristic Component (HSiO_3^- 、 Sr^{2+})Genesis of the Mineral Water in the Basalt [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese))
- [6] 余丹丹,张韧,洪梅. 基于交叉小波与小波相干的西太平洋副高与东亚夏季风系统的关联性分析 [J]. 南京气象学院学报, 2007,30(6): 755-769.(YU Dandan, ZHANG Ren, HONG Mei. Correlation analysis between the west pacific subtropical high and the east asian summer monsoon system based on cross wavelet and wavelet coherence[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2007,30 (6):755-769. (in Chinese))
- [7] 陶勇. 吉林长白山天然矿泉水抚松饮用水水源保护区划分研究[D]. 长春: 吉林大学,2013. (TAO Yong. Study on the Division of Natural Mineral Drinking Water Source Protection Areas in Fusong of Changbai Mountain in Jilin Province [D]. Changchun: Jilin University, 2013. (in Chinese))
- [8] 魏日华,孙桂喜. 影响降水补给地下水资源的因素分析 [J]. 吉林水利, 2006,287:14-15. (WEI Rihua, SUN Guixi. Analysis on the influcing factors of groundwater recharge [J]. Jilin Water Resources, 2006,287:14-15. (in Chinese))
- [9] 虎维岳,南生辉,柴建禄. 大气降水对地下水补给的影响因素分析[J]. 地下水, 1997,19(4):168-170. (HU Weiyue, NAN Shenghui, CHAI Jianlu. Analysis on the influence fators for precipitation recharging groundwater[J]. Groundwater, 1997,19(4):168-170. (in Chinese))
- [10] 赵雪梅. 浅谈大气降水对地下水的补给[J]. 地下水, 2011,33(2):9-10. (ZHAO Xuemei. A discussion about precipitation recharging groundwater[J]. Groundwater, 2011,33(2):9-10. (in Chinese))
- [11] 徐克兵. 雅鲁藏布江干流河川径流变化的小波分析 [J]. 东北水利水电, 2014,(1):38-50. (XU Keping. Wavelet analysis of the river runoff change in Yarlung Zangbo River [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2014,(1):38-50. (in Chinese))
- [12] DE MICHELE G, SELLO S, CARBONCINI M C, et al. Cross-correlation time-frequency analysis for multiple EMG signals in Parkinson's disease: a wavelet approach [J]. Medical Engineering & Physics, 2003,25(5):361-369.
- [13] 姚俊强,杨青,刘志辉. 中国西北干旱区降水时空分布特征[J]. 生态学报,2015,35(17):1-13. (YAO Junqiang, YANG Qing, LIU Zhihui. Research on spatio-temporal change of precipitation in the arid

- region of northwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015,35(17):1–13. (in Chinese))
- [14] 薛小杰,蒋晓辉,黄强. 小波分析在水文序列趋势分析中的应用[J]. *应用科学学报*, 2002,20(4):426–428. (XUE Xiaojie, JIANG Xiaohui, HUANG Qiang. The application of wavelet analysis in hydrological sequence trend analysis [J]. *Journal of Applied Sciences*, 2002,20(4):426–428. (in Chinese))
- [15] 郭林,宫辉力,朱锋,等. 基于小波分析的地下水水位与降水的周期性特征研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2014,30(2):35–38. (GUO Lin,GONG Huili, ZHU Feng. Cyclical characteristics of groundwater level and precipitation based on wavelet analysis [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2014,30(2):35–38. (in Chinese))
- [16] GRINSTED A, MOORE J C, JEVREJEVA S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series[J]. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 2004,11(5/6):561–566.
- [17] 郑东旗,祁旭,刘增基. 1901–2012年福州市气温变化趋势[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2014,43(2):178–184. (ZHENG Dongqi, QI Xu, LIU Zengji. Tendency of temperature variation in Fuzhou from 1901 to 2012[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2014,43(2):178–184. (in Chinese))
- [18] 罗栋梁,金会军. 黄河源区玛多县 1953—2012年气温和降水特征及突变分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2014,28(11):185–192. (LUO Dongliang, JIN Huijun. Variations of air temperature and precipitation from 1953 to 2012 in the Madoi station in the sources areas of the Yellow River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014,28(11):185–192.(in Chinese))

Response of Mineral Water Resources to Precipitation Change Based on Wavelet Analysis in Fusong County

GAO Yue¹, BIAN Jianmin¹, SONG Chao², CONG Lu³

- (1. *Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130021, China;*
2. *College of Geo-exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;*
3. *Heilongjiang Institute of Geological Environment Monitoring, Haerbin 150090, China*)

Abstract: Precipitation is an important recharge source for springs in Fusong County. Therefore, it is of great significance to explore the change regulation and extreme value probability of precipitation for continuous replenishment of spring. For this, firstly, based on the precipitation data during 1960–2013 and spring discharge data during 1981–2008, the distribution characteristics of precipitation were analyzed through the calculation of the mean precipitation value in a year and between different years; Next, Pearson III model was used to analyze the distribution of the largest precipitation probability; And then, the wavelet analysis was used to analyze the annual precipitation power spectrum, extracting precipitation period between the year 1960 and 2013 at the same time; At last, the cross wavelet method was used to analyze period relation between the amount of mineral water resources and precipitation. The results show that during the 54 years between 1960 and 2013, annual precipitation had a period change, and the variation coefficient is 1.017×10^{-17} , which reflect the precipitation is stable, with no abnormal changes. The main oscillation period of precipitation and spring discharge are both approximately 11 months, and both of them shared the same phase (the spring discharge having an immediate reaction with the change of precipitation). As an important recharge factor for the mineral water in the study area, precipitation can effectively guarantee the supply of mineral water resources.

Key words: Fusong County; precipitation; spring discharge; period; continuous wavelet; cross wavelet; multi-time scale

(上接第 66 页)

Analysis of Leakage in Gujiao Reach of Fenhe River in Jinci Spring Basin

DANG Yuejun

(*Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030001, China*)

Abstract: The Gujiao Reach of the Fenhe River in the Jinci Spring basin is in the mountain valley. The most parts of the valley is of exposed soluble rock strata of Cambrian–Ordovician carbonate rocks. The seepage of the river is considerable. Based on the measured data from the experiment cross section. A leakage coefficient model was established for the section flow of the upstream leakage reach. This paper also analyzed the leakage patterns over sections along the stream, and calculated the leakage volume.

Key words: Jinci; spring restoring project; channel leakage; Leakage coefficient; model; water balance