

晋祠泉域汾河干流古交段河道渗漏分析研究

党跃军

(山西省水文水资源勘测局,山西 太原 030001)

摘要:晋祠泉域汾河干流古交段属山区峡谷,河谷大部分河段寒武、奥陶系碳酸盐岩类可溶性岩层裸露,河道渗漏量大。根据试验断面测流数据,建立了不同渗漏段上游断面流量及渗漏系数关系模型,分析各渗漏段渗漏规律,推算渗漏量,为晋祠泉水复流工程汾河干流古交渗漏段补水方案提供参考。

关键词:晋祠;泉水复流;河道渗漏;渗漏系数;模型;水量平衡

中图分类号:P345

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)02-0062-05

1 引言

河道渗漏是水环境保护与水资源转化中一个重要环节,地表水通过河道渗漏补给地下水的研究,对内陆盆地的地下水补给具有重要实践意义^[1]。国内外对河道渗漏的研究主要有四种方法,即:现场试验法、经验公式法、解析法和数值法等。现场试验方法原理简单直接,是测量和计算河道渗漏量最基本的方法,但要受一定试验条件的局限。世界各国在其水利发展过程中,提出过不同的经验公式用来计算河道渗漏损失量,这些经验公式大都具有形式简单、应用方便的特点,但在实际应用时公式中各种系数取值的任意性较大,且不考虑渗漏随时间和空间的变化,所以只适合特定的条件,因而限制了其使用推广。中科院院士薛禹群用解析方法推导了河道稳定渗漏的计算公式,但其只适用于特定的条件,且要用到复杂的参数和计算过程。数值模拟法是用模型模拟来研究地下水问题的主要方法,由于地下水模型一般比较复杂,往往需借助于数值方法,虽然经过了数十年的研究,但仍有一些问题没有得到很好地解决。由此可见,国内外对河道渗漏计算方法的研究,不同方法均有其适用的条件和范围。

本研究在现场试验的基础上,建立了试验段渗漏量与上游来水量的关系模型,并根据其渗漏规律对其它渗漏段推导经验公式并进行渗漏量计算,取得较好成果。

晋祠泉是山西省 19 个岩溶大泉之一,是“三晋第

一名泉”,从春秋时期的智伯渠开始,就具有开发、利用、观赏价值。自 20 世纪 80 年代以来,由于泉域内岩溶地下水的大量开采和煤矿的大规模采煤排水,致使泉域岩溶水资源采补严重失衡,地下水位持续下降,导致 1994 年 4 月 30 日晋祠泉断流^[2],到 2008 年水位降至泉口以下 27.76m。近年来,针对日趋恶化的泉域水环境,山西省采取了多种有效的治理和保护措施,极大地改善了晋祠泉域水环境,泉域岩溶地下水位逐年上升,到 2013 年底,晋祠泉水位已恢复到距泉口 9.03m。2014 年初,山西省启动了晋祠泉复流工程,全面进行泉域生态环境的建设和治理,如通过汾河水库、二库联合调度,加大汾河河道渗漏补给岩溶地下水;实施水源置换和关井压采措施,减少泉域岩溶地下水开采;通过煤炭资源整合压采,减少矿坑排水等等^[3]。本文主要研究晋祠泉域汾河干流古交渗漏段渗漏规律,建立上游来水与渗漏系数的关系模型,并利用退水系数公式推算晋祠泉域汾河干流古交渗漏段的渗漏量,旨在为晋祠泉水复流汾河干流古交渗漏段补水方案的实施提供参考。

2 研究区概况

晋祠泉域行政区划以太原市所辖范围为主。晋祠泉是泉域岩溶水的集中排泄点,出露于太原西山悬瓮山下,距太原市城区 25km,由难老泉、圣母泉、善利泉组成,出露高程 802.53~805.26m。晋祠泉域总面积 2 030km²,其中裸露可溶岩面积 391km²。泉域内多年

收稿日期:2015-04-13

作者简介:党跃军(1964-),男,汉族,山西芮城人,高级工程师,主要从事水文水资源计算与评价分析工作。E-mail:dangyj3534@163.com

平均降水量 462.4mm。泉域内河流水系较为发育,汾河是流经本区最大的河流,还分布有十余条季节性一级支流^[4]。

晋祠泉域内汾河河道汾河水库至扫石区间属山区峡谷类型,河道流经的河床地层大部分为寒武、奥陶系的碳酸盐岩类可溶性岩层,其中尤以岩溶发育的中奥陶统灰岩地层分布最广。汾河水库至扫石(晋祠泉域边界)渗漏段长度为 44km,渗漏段分别为罗家曲至镇城底 20km、古交至寨上 5km、寨上至扫石(晋祠泉域边界)19km,见渗漏段位置示意图(图 1),漏失水量主要补给晋祠泉^[5]。以往观点认为古交—寨上为砂页岩区断层渗漏带,但通过引黄工程前期钻孔资料证实该段断层的作用是抬升了碳酸盐岩而使其出露于河床底部,同样为岩溶渗漏^[6]。故本文主要研究古交段岩溶区的自由渗漏规律^[7]。汾河河道古交段设有汾河水库水

文站(为水库出库站)和寨上水文站(为汾河二库入库站),均位于汾河干流上。

3 渗漏试验和资料分析

河道渗漏分析的关键是确定渗漏曲线,即确定渗漏模型^[8]。根据渗漏量计算需求,本研究需建立汾河水库—寨上、寨上—扫石两个区间渗漏模型,其资料来源于渗漏试验和历史资料的统计。

3.1 渗漏试验

汾河水库每年 2 月底放水,渗漏试验测流断面为汾河水库、寨上和扫石(临时断面),测流期间对区间来水进行调查统计,根据调查,寨上—扫石区间入流量可忽略不计。试验资料见表 1。

3.2 资料统计分析

根据汾河水库、寨上水文站多年实测资料,统计

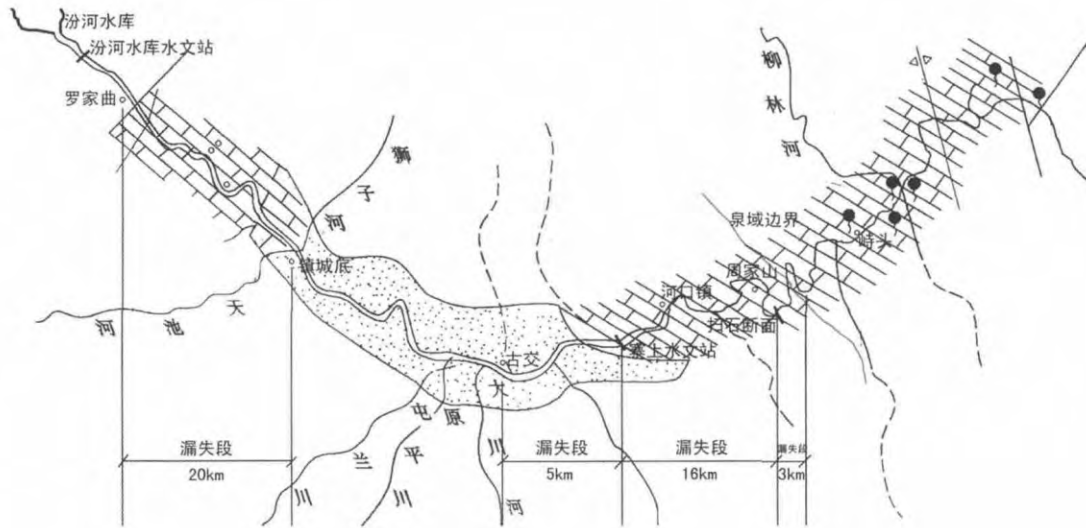


图 1 晋祠泉域汾河干流渗漏段位置示意图

Fig.1 Location of the leakage reach of the Fenhe River main stream in the Jinci spring basin

表1 汾河水库—寨上、寨上—扫石渗漏试验统计表

Table1 The statistics of the leakage experiments for the reaches of Fenhe reservoir to Zhaishang and Zhaishang to Saoshi

河段	起		止		上断面来水 $/m^3 \cdot s^{-1}$	区间入流 $/m^3 \cdot s^{-1}$	下断面出流 $/m^3 \cdot s^{-1}$	河道渗漏量 $/m^3 \cdot s^{-1}$	渗漏系数 /%	备注
	月	日	月	日						
汾河水库— 寨上	2	13	2	23	8.99	1.29	9.5	0.78	8.73	统计数据为 放水流量稳 定时段统计 数。
	2	24	3	10	14.25	1.29	14.37	1.17	8.24	
	3	12	3	19	23.85	1.29	24.4	0.74	3.12	
	3	21	3	27	58.4	1.29	58.7	0.99	1.70	
寨上—扫石 (测流断面)	3	8	3	11	14.7		14.28	0.42	2.86	
	3	12	3	20	24.36		23.91	0.45	1.85	
	3	21	3	24	74.9		73.72	1.18	1.58	
	3	25	3	27	41.07		40.63	0.44	1.07	

计算汾河水库~寨上区间枯季月径流负值资料。一般情况下,枯水季节上述河段区间汇入河道的水量甚少,而本区段引水量也很小,根据水文站资料统计的区间流量负值,基本等于河道渗漏量。汾河水库—寨上区间实测典型月径流负值统计见表2。

表2 汾河水库—寨上区间实测月径流负值资料统计表

Table2 The statistics of the measured negative values of monthly runoff in the reach between the Fenhe reservoir and Zhaishang

年	月	区间负值 /m ³ ·s ⁻¹	渗漏系数 /%	年	月	区间负值 /m ³ ·s ⁻¹	渗漏系数 /%
1960	11	0.9	13.2	1987	3	1.03	5
1961	3	1.31	5.8	1988	4	0.45	8
1962	4	1.1	4	1989	3	3.11	6.2
1963	1	0.06	73.2	1990	3	1.58	3
1965	2	0.79	6.5	1991	3	1.7	4.3
1966	2	0.28	13.6	1992	5	1.21	21
1966	3	0.72	3.2	1994	5	0.5	11.8
1969	2	0.22	15.4	1996	5	0.49	9.7
1971	2	0.31	12.9	1997	3	1.09	2.7
1972	1	0.02	35.6	1998	3	1.79	2.8
1973	5	0.74	18.4	1999	5	0.54	14.3
1974	4	1.8	8.5	2001	3	1	3.6
1979	5	1.46	4	2002	3	0.5	3.1
1981	11	0.48	10.4	2003	3	0.6	1.4
1982	1	0.02	34.3	2006	4	0.75	16.1
1983	6	0.54	5.9	2007	3	0.9	6.4
1984	2	0.04	78.8	2009	2	0.52	10.4
1984	3	1.4	4	2011	3	1.4	3.9

4 河道渗漏量分析

根据资料条件,汾河水库—寨上、寨上一扫石渗漏量依据水量平衡原理进行渗漏系数模型建立和分析计算,寨上一泉域边界渗漏量根据渗漏规律按河道退水系数法进行分析计算。

4.1 渗漏模型建立

按水量平衡原理,各区段平均渗漏量可用下式表示^[8-9]:

$$Q_{\text{渗}} = \Delta Q = Q_{\text{上}} + Q_{\text{区}} - Q_{\text{下}}$$

式中: $Q_{\text{渗}}$ 为计算区段渗漏量(m³/s); ΔQ 为计算区段河道损失量(河道渗漏量,m³/s); $Q_{\text{上}}$ 为计算区段上断面实测流量(m³/s); $Q_{\text{下}}$ 为计算区段下断面实测流量(m³/s); $Q_{\text{区}}$ 为计算区段区间入流量(m³/s),包括区间支流入流量、泉水出流量、污水入流量,扣除区间引水量。

根据上述水量平衡方程式确定河段渗漏量,进而计算河段渗漏量占入流量的百分数(渗漏系数),作为

分析渗漏系数与入流量之间的对应关系的依据。上述方程可简化为以渗漏系数表示的渗漏曲线,渗漏系数 m 按下式计算:

$$m = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{上}}} \times 100\%$$

根据专门服务于河道渗漏分析而临时设立的站定点同步观测取得的短期测验资料,给合汛前区间入流为零(接近于零)时上下游水文站实测流量资料分析确定。

m 随来水量而变,在不考虑区间来水影响的情况下,本研究参照山西省水资源二次评价成果河道渗漏计算模型,根据资料分析,建立渗漏系数与上游来水量关系的渗漏模型如下:

$$m = a(e^{-b \times Q_{\text{上}}} + Q_{\text{上}}^{-c})$$

式中: a 、 b 、 c 为根据实测资料率定的参数;其它符号同上。

根据表1和表2所列资料确定的汾河干流汾河水库—寨上、寨上一扫石河道渗漏曲线见图2和图3。由图可见,渗漏试验资料和区间负值资料反映的渗漏

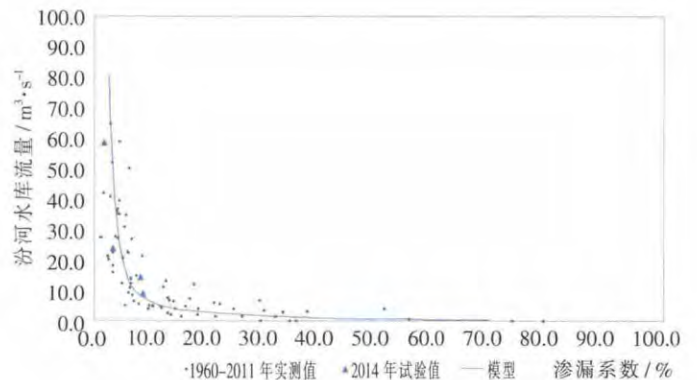


图2 汾河水库—寨上河道渗漏曲线

Fig.2 The leakage curve of the stream reach from the Fenhe reservoir to Zhaishang

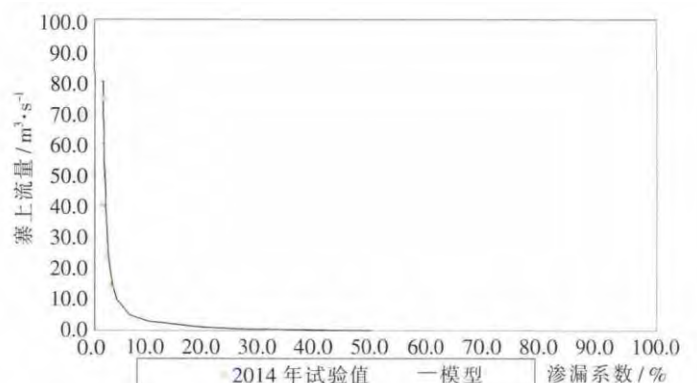


图3 寨上一扫石河道渗漏曲线

Fig.3 The leakage curve of the stream section from Zhaishang to Saoshi

情况基本一致,各河段均存在入流量与渗漏百分数之间良好的对应关系,即:随入流量增大,渗漏系数呈递减趋势。

4.2 河道退水系数法

由于扫石测流断面不在泉域边界处,为了推求泉域内河道渗漏量,采用河道退水系数法推求至泉域边界处河道渗漏系数。考虑河道渗漏段地质结构等因素,认为汾河干流渗漏段呈均匀渗漏,故推算寨上一泉域边界河道渗漏量应用寨上一扫石渗漏系数采用河道退水系数法,公式如下:

$$Q_{\text{渗}} = m_{\text{推}} \times Q_{\text{上}} = (1 - \eta_{\text{推}}) \times Q_{\text{上}}$$

$$\eta_{\text{推}} = \eta \frac{L_{\text{推}}}{L} = (1 - m) \frac{L_{\text{推}}}{L}$$

$$m_{\text{推}} = 1 - \eta_{\text{推}} = 1 - (1 - m) \frac{L_{\text{推}}}{L}$$

式中: $Q_{\text{渗}}$ 为推算区间河道渗漏量(m^3/s); $m_{\text{推}}$ 为推算区间河道渗漏系数(%); $\eta_{\text{推}}$ 为推算区间河段退水系数(%); η 为试验段河道退水系数(%), $\eta = Q_{\text{下}}/Q_{\text{上}}$; m 为试验段河道渗漏系数(%); $Q_{\text{上}}$ 为上游断面实测流量(m^3/s); L 为试验河段上、下游断面之间的河道渗漏长度(km); $L_{\text{推}}$ 为推算河段上、下游断面之间的河道渗漏长度(km)。

4.3 河道渗漏量的确定

应用模型确定汾河水库—寨上、寨上一扫石区间上游来水与河道渗漏系数关系,应用河道退水系数法计算寨上一泉域边界上游来水与河道渗漏系数关系,

表3 不同区段上游来水与渗漏量(渗漏系数)关系表

Table3 The relationship between upstream flow and leakage (leakage parameter) of the different reaches

上游来水 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	汾河水库—寨上		寨上—扫石		寨上—泉域边界	
	渗漏量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	渗漏系数 /%	渗漏量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	渗漏系数 /%	渗漏量 $/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	渗漏系数 /%
1	0.35	35.3	0.19	19.3	0.22	22.5
2	0.47	23.6	0.26	12.9	0.30	15.1
5	0.58	11.6	0.32	6.4	0.37	7.5
10	0.71	7.1	0.39	3.9	0.46	4.6
15	0.85	5.7	0.47	3.1	0.55	3.7
20	0.98	4.9	0.54	2.7	0.64	3.2
30	1.20	4.0	0.66	2.2	0.78	2.6
40	1.39	3.5	0.76	1.9	0.90	2.2
50	1.56	3.1	0.85	1.7	1.01	2.0
60	1.70	2.8	0.93	1.5	1.10	1.8
80	1.97	2.5	1.07	1.3	1.27	1.6

注:汾河水库—寨上的上游来水是指汾河水库水文站来水,寨上一扫石(或泉域边界)上游来水是指寨上水文站来水。

结果详见表3。

由表3可见,河道渗漏量除了与地质岩性、构造和水文地质条件等下垫面因素有关系外,还与河道流量本身有关。根据渗漏模型,渗漏系数与河道流量呈非线性关系,随着流量减少,渗漏系数非线性增大,且为小流量时增幅大,大流量时增幅小。而渗漏量则相反,随着流量的增加,渗漏量成非线性增加,小流量时渗漏量增幅大,大流量时渗漏量增幅减小。但各河段的关系不同,反映不同水文地质条件的影响^[10]。

根据模型计算结果,汾河水库—寨上、寨上一扫石区间1959~2012年平均渗漏量分别为 $0.54\text{m}^3/\text{s}$ (其中1959~1979年渗漏量为 $0.63\text{m}^3/\text{s}$)和 $0.34\text{m}^3/\text{s}$ (其中1959~1979年渗漏量为 $0.40\text{m}^3/\text{s}$);根据河道退水系数推算,寨上一泉域边界1959~2012年平均渗漏量为 $0.40\text{m}^3/\text{s}$ (其中1959~1979年渗漏量为 $0.47\text{m}^3/\text{s}$)。通过模型分析,上游来水量一定条件下,上游均匀来水河道渗漏量最大。

5 成果合理性分析

为了检验本研究建立的河道渗漏模型是否合理,本文通过采用水均衡法计算晋祠泉域岩溶水资源量进行合理性分析。对于晋祠泉域水文地质单元,多年平均情况下,岩溶水补给量应与排泄量相当,即 $Q_{\text{补}} \approx Q_{\text{排}}$ 。岩溶水补给项包括灰岩裸露区降水入渗补给和河道河川径流渗漏补给两部分,本文采用了受人类活动影响较小的20世纪80年代以前资料。晋祠泉域在20世纪50、60年代岩溶水开采量较小,接近天然状态,晋祠泉少部分在边山地带侧向径流排泄补给边山洪积扇孔隙水,大部分以泉的形式集中排泄,所以,天然状态下晋祠泉域排泄量主要有泉水流量和侧向潜排量,泉水流量采用50年代平均值。

5.1 补给量计算

降水入渗补给量:晋祠泉域补给区多年平均降水量 468mm ,灰岩裸露区面积 391km^2 ,降水入渗补给系数 $0.25^{[5]}$ 。估算降水入渗补给量为 $4296 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$,折合 $1.45\text{m}^3/\text{s}$ 。

河道渗漏补给量:以汾河水库—泉域边界区间成果作为晋祠泉域岩溶水的渗漏补给量。根据本研究渗漏模型成果,1959~1979年汾河水库—泉域边界区间平均渗漏量为 $1.10\text{m}^3/\text{s}$ 。

上述合计晋祠泉域岩溶地下水补给量为 $2.55\text{m}^3/\text{s}$ 。

5.2 排泄量计算

泉流量:天然状态下,晋祠泉流量为 $1.96\text{m}^3/\text{s}^{[11]}$ 。

侧向潜排量:根据泉域研究的不同成果,本研究综合考虑采用 $0.6\text{m}^3/\text{s}$ 。

上述合计晋祠泉排泄量为 $2.56\text{m}^3/\text{s}$ 。

根据水均衡原理,计算晋祠泉域补给量和排泄量的差值,补排相差 0.4% ,补给量和排泄量基本一致,并且计算成果与二次评价成果晋祠泉域天然资源量 $2.4\text{m}^3/\text{s}^{[12]}$ 基本相当,说明本研究渗漏模型建立基本合理,以其推算渗漏成果较为可靠。

6 结论

(1)本文根据汾河水库和寨上水文站历史资料,以及扫石监测断面试验资料,建立了汾河水库—寨上、寨上一扫石区间不同渗漏段上游断面流量与渗漏系数关系模型,分析了各渗漏段渗漏规律,推算了渗漏量。

(2)根据模型计算,汾河水库—寨上、寨上一扫石区间1959~2012年平均渗漏量分别为 $0.54\text{m}^3/\text{s}$ 和 $0.34\text{m}^3/\text{s}$;根据河道退水系数推算,寨上一泉域边界1959~2012年平均渗漏量为 $0.40\text{m}^3/\text{s}$ 。通过模型分析,晋祠泉域灰岩渗漏段上游来水量一定条件下,上游均匀来水河道渗漏量最大。

(3)现状条件下,由于受人类活动的影响,如水库蓄水、傍河取水等造成汾河来水量减少,河道渗漏量也必然减少,因此,加大水库放水量,增加河道渗漏补给,是保证泉水出流的必要条件之一。

参考文献:

- [1] Md Motaleb Hossain, Kazuhisa A Chikita, Yoshitaka Sakata, Et al. Groundwater leakage and river runoff in a catchment influenced by tectonic movement [J]. Open Journal of Modern Hydrology, 2015,5: 32-44.
- [2] 山西省水利厅,中国地质科学院岩溶地质研究所,山西省水资源管理委员会. 山西省岩溶泉域水资源保护[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2007:64-75. (Department of Water Resources of Shanxi province, Institute of Karst Geology of Chinese Academy of Geological Sciences, Water Resources Management commission of Shanxi Province. Water Resources Protection in Karst Spring Area in Shanxi Province [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2007:64-75. (in Chinese))
- [3] 山西省水利厅. 晋祠泉复流工程实施方案[R]. 2014:1-2. (Department of Water Resources of Shanxi Province. Implementation plan for the project of Jinci spring flow restoring [R]. 2014:1-2. (in Chinese))
- [4] 山西省人民政府. 关于山西省泉域边界范围及重点保护区划定的批复[Z]. 1998-11-9. (People's Government of Shanxi Province. Official reply and approval on spring basin borders setting and key protection areas designating in Shanxi province [Z]. 1998-11-9. (in Chinese))
- [5] 韩行瑞,鲁荣安,李庆松,等. 岩溶水系统——山西岩溶大泉研究[M]. 北京:地质出版社, 1993:211-214. (HAN Xingduan, LU Rongan, LI Qingsong, et al. The Karst Water System: A Study on the Karst Springs in Shanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:211-214. (in Chinese))
- [6] 原锦新. 引黄南干连接段汾河水库以下河道渗漏段浅析[J]. 山西水利科技, 1997,(S1):10-11. (YUAN Jinxin. Analysis on the seepage of stream section downstream Fenhe reservoir to the southern main connection of Yellow River diversion project [J]. Shanxi Hydrotechnics, 1997,(S1):10-11. (in Chinese))
- [7] 梁永平,高洪波,张江华,等. 建立在水动力关系基础上桃河阳泉段河道渗漏补给量的计算 [J]. 山西水利科技, 2005,(3):58-60. (LIANG Yongping, GAO Hongbo, ZHANG Jianghua, et al. Calculation of the recharge from river leakage to Yangquan section of Taohe River based on the basis of hydrodynamic relations[J]. Shanxi Hydrotechnics, 2005,(3):58-60. (in Chinese))
- [8] 山西省水文总站. 太原市河川径流水资源评价 [R]. 1988. (General Hydrology Station of Shanxi Province. Evaluation of river runoff and water resources in Taiyuan city [R]. 1988. (in Chinese))
- [9] 陆中央. 应用水文学方法推求河道渗漏补给量[J]. 水文地质工程地质, 1985,(6):37-39. (LU Zhongyang. Applying hydrology hydrograph method to estimate channel recharge from river leakage [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1985,(6):37-39. (in Chinese))
- [10] 山西省水文总站,山西省水资源技术开发研究所,大同市水资源管理委员会办公室. 山西能源基地“三水”转化关系试验研究[R]. 1987. (General Hydrology Station of Shanxi Province, Institute of Water Resources Technology Development of Shanxi Province, Office of Water Resources Management Commission of Datong City. Experimental study on the "three waters" relation and transformation in region of Shanxi energy base [R]. 1987. (in Chinese))
- [11] 中国地质大学(武汉)环境学院. 山西岩溶大泉水资源评价、开发利用与优化配置研究[R]. 2003. (School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan). Study on the water resources assessment, the development and utilization and the optimal allocation for the karst springs in Shanxi province [R]. 2003. (in Chinese))
- [12] 范堆相. 山西省水资源评价 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005. (FAN Duixiang. Evaluation of Water Resources in Shanxi Province [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))

- 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