

贵州后寨流域岩溶地下水资源评价及干旱特征分析

刘丽红¹, 刘启蒙¹, 李 娟²

(1. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘 要:岩溶泉流量时间序列蕴含大量岩溶含水系统水动力特征信息, 可为岩溶地下水资源量的确定及水文干旱分析提供重要途径。本研究基于长系列泉流量时间序列, 推求流量理论频率曲线, 通过拟合的理论频率曲线获得后寨岩溶典型小流域在 95%、80%、50%、20% 保证率下的岩溶地下水流量为 $0.25\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.23\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.39\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.57\text{m}^3/\text{s}$ 。在概率为 80% 的流量截取水平下, 获得岩溶含水系统 1991~1997 年的最严重干旱为 1993 年, 干旱历时为 195d, 缺水量为 $2.9 \times 10^6\text{m}^3$ 。泉流量时间序列的理论频率分析能很好的应用于岩溶含水系统地下水资源计算和干旱特征分析, 为岩溶含水系统水资源的合理优化配置提供依据。

关键词:岩溶含水系统; 泉流量; 频率曲线; 允许流量阈值; 干旱特征

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)03-0034-04

引言

碳酸盐岩分布区的水循环运移与岩溶发育及其结构密切相关^[1]。由于岩溶含水系统的高度非均质性和各向异性, 岩溶含水系统的水动力循环过程非常复杂。我国是世界上岩溶最发育的国家之一, 岩溶分布广泛, 类型较多。全国岩溶区总面积约 $3.44 \times 10^6\text{km}^2$, 约占国土面积的 1/3, 裸露面积 $9.07 \times 10^5\text{km}^2$ 。近年来, 随着城市的发展和人们生活水平的提高, 生产、生活用水量不断增加, 造成地下水超量开采, 导致泉群长时间停涌、水生态环境恶化等一系列环境问题。随着区域经济的发展和人们环境保护意识的提高, 岩溶水资源保护将是未来的一个重要的发展方向^[2]。

岩溶泉流量时间序列携带了岩溶含水系统内部大量动态信息, 并且泉流量数据易获得, 在降雨泉流量响应方面国内外学者进行了大量研究, 其中研究主要集中在泉流量衰减系数方程的应用和时间序列分析方面。在泉流量衰减系数方面, 黄敬熙、杨立铮等应用衰减系数方程对泉流量曲线衰减段进行拟合并分析了岩溶含水系统每种介质的含水体积^[3-4]。李向国等^[5]分析了指数型衰减方程在岩溶地下水资源评价中的应用, 并对地下水资源可开采量进行了计算。在时间序列分析方面, 法国岩溶学家 Mangin^[6]

第一次将时间序列应用在描述岩溶含水系统功能特征方面, 通过时间序列分析来研究岩溶含水系统的发育程度。Larocque 等人^[7]将相关分析和谱分析应用到区域岩溶含水系统的水动力特征研究中, 用泉流量、不同测站流速、水位、电导率、水温、降雨等时间序列得到岩溶含水系统不同点的储水能力、快慢速流的空间变化、空间非均质程度等水动力特征。Padilla 和 Pulido-Bosch^[8]在 1995 年将时间序列分析中的互相关分析应用到岩溶含水系统刻画的研究中。Lee 和 Krothe^[9]用互相关研究了裂隙含水系统的补给机制, Panagopoulos 和 Lambrakis^[10]在 2006 年采用互相关研究了希腊两个典型岩溶含水系统的水动力特征。因此, 在很多水文地质实践中, 特别是涉及到岩溶含水系统, 地下水资源量的确定主要是基于泉流量时间序列。

笔者以西南后寨岩溶典型小流域的水动力循环特征为背景, 基于泉流量时间序列, 推求理论频率曲线; 通过理论频率曲线获得不同概率下对应的丰水年, 半干旱年, 干旱年和极端干旱年下不同的流量值, 进而对岩溶地下水资源可利用量进行分类, 计算不同保证率下岩溶地下水资源的允许流量阈值。

1 研究区概况

贵州省地处世界岩溶发育最复杂、类型最齐全、分

收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41201017); 安徽高校省级自然科学基金项目(KJ2012Z085)

作者简介: 刘丽红(1980-), 女, 山东潍坊人, 博士, 主要从事地下水资源评价与管理、地下水与生态环境研究。E-mail: lhlhliu@aust.edu.cn

布面积最大的东亚岩溶区域中心^[1]。本文选定贵州普定后寨岩溶小流域作为研究对象,后寨岩溶小流域位于贵州省普定县城以南,地理位置为东经 105°41′27″~105°43′28″,北纬 26°13′3″~26°15′3″,面积 81km²。地势东南高、西北低,海拔高度一般在 1 220~1 400m,最高 1 585m,最低 1 218m。相对高差一般为 250~300m,最高达 367m^[12](见图 1)。

该流域多年平均降水量为 1 314.6 mm,降水时空分布不均,5~10 月为雨季,降水量占全年的 80% 以上,11~4 月为旱季,流域地貌东部主要为峰丛洼地,西部主要为峰林盆地,流域内落水洞星罗棋布。地层为中三叠统关岭组(T_{2g})的灰岩、白云岩,岩层倾角 5°~10°,流域内共发育 6 条地下河,地下河流向基本上是从东至西,冒水坑为该闭合流域排泄的总出口^[13]。

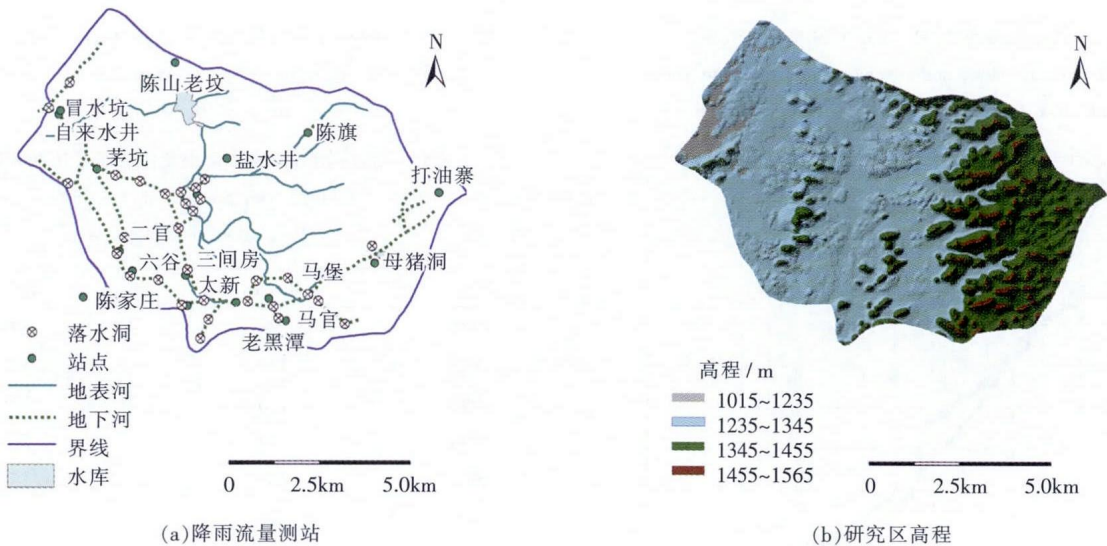


图 1 贵州普定后寨地下河流域综合图
Fig.1 The Houzhai Karst underground basin in Guizhou Province, China

2 资料来源及分析方法

选取流域出口冒水坑站点 1991~1997 年日流量序列,推求理论频率曲线并计算不同保证率下的允许流量。

2.1 推求频率曲线和流量历时曲线

某一流量值出现的次数占总天数的百分数,纵坐标为流量值,横坐标为频率。频率曲线通常是对称的,可以从频率曲线中获得曲线分布的中数,中位数和众位数等相关参数。流量历时曲线则为大于等于某流量值所对应的天数,此曲线可通过频率曲线获得。

2.2 理论频率曲线

此曲线可以确定不同保证率下岩溶地下水资源的保证、可靠及可能量。它代表随机变量 X 大于等于某一取值 x 的概率。其几何图形如图 2 所示,图中纵坐标表示变量 x ,横坐标表示概率分布函数值 $F(x)$,在数学上称此曲线为分布曲线,水文统计中称为随机变量的累积频率曲线。通常采用适线法来推求理论频率曲线,适线法就是将资料系列的经验频率点绘于概率格

纸上,然后将指定分布曲线与这些点子进行拟合,从而得到欲求的统计参数^[14-15]。

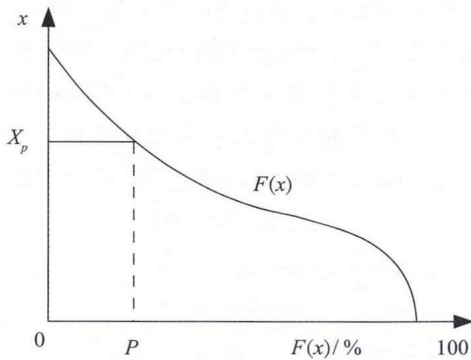


图 2 累积频率曲线
Fig.2 The cumulative frequency curve

3 实例应用

本文选取后寨岩溶小流域下游出口的冒水坑站 1991~1997 年流量过程进行水文频率分析(见图 3)。冒水坑站点流量的经验累积频率曲线如图 4,拟合均值 $E_x=1$,变差系数 $C_v=0.62$,偏态系数 $C_s=1.91$ 。对应于

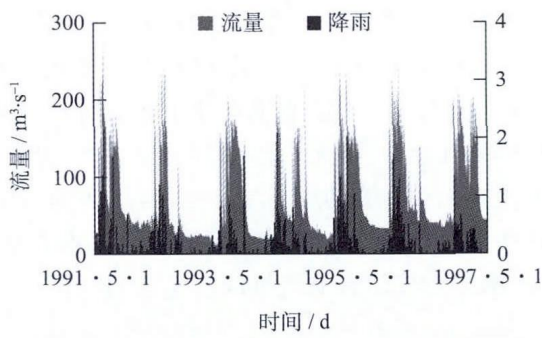


图3 冒水坑站点 1991~1997 年降雨流量过程
Fig.3 The precipitation and discharge of hydrologic years from 1991 to 1997 at the Maoshuikeng station

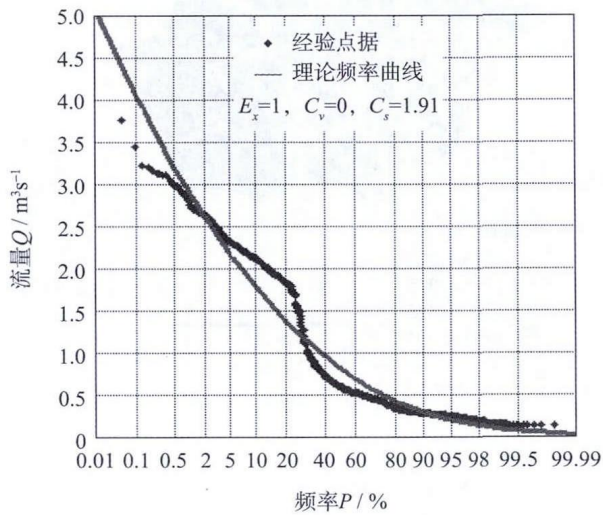


图4 经验点据和拟合频率曲线
Fig.4 The empirical points and fitting frequency curve

水文年定义的“湿润”、“半干旱”、“干旱”、“极其干旱”，相应的概率为 20%、50%、80%和 95%。岩溶地下水资源的正常流量对应于多年平均值，即 50%概率下的流量值，因此可以根据可靠水平来对岩溶地下水资源进行分类：95%、80%、50%、20%保证率下的岩溶地下水允许流量为 ER1、ER2、ER3 和 ER4：

ER1: $Q_{ER1}=Q_{95}=0.25\text{ m}^3/\text{s}$
ER2: $Q_{ER2}=Q_{80}-Q_{95}=0.23\text{ m}^3/\text{s}$
ER3: $Q_{ER3}=Q_{50}-Q_{80}=0.39\text{ m}^3/\text{s}$
ER4: $Q_{ER4}=Q_{20}-Q_{50}=0.57\text{ m}^3/\text{s}$

根据以上分析结果可知，在干旱情况下(超过概率 80%)岩溶地下水的可利用最小流量为 $0.48\text{ m}^3/\text{s}$ ，从图 3 可知绝大多数情况下流量值要大于可利用流量值，但是某些月份出现了低于此流量值的情况(见图 5)，如 1992~1994 年。1991 年到 1997 年的干旱历时和缺水统计情况见表 1，最严重的干旱情况发生在 1993，干旱历时为 195d，缺水量为 $2.9\times 10^6\text{ m}^3$ 。

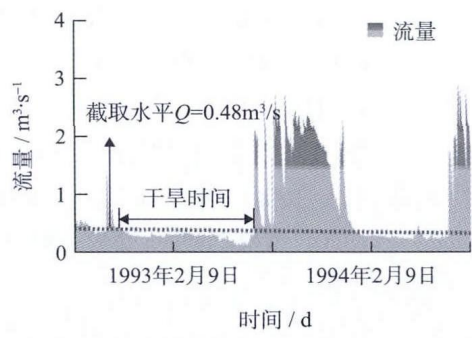


图5 1992~1993 年的在截取水平 $Q=0.48\text{ m}^3/\text{s}$ 下对应的干旱历时
Fig.5 The dry duration at the cutting level ($Q=0.48\text{ m}^3/\text{s}$) from 1992 to 1993

表1 1991~1997后寨岩溶小流域的干旱历时和缺水量
Table1 The drought characteristics in the various analytical years

Year	干旱历时/d	缺水量/ m^3
1991	36	8.0×10^6
1992	117	1.1×10^6
1993	195	2.9×10^6
1994	141	2.1×10^6
1995	137	1.2×10^6
1996	88	1.2×10^5
1997	4	3.5×10^3

4 结论

通过对后寨岩溶小流域出口冒水坑站点的泉流量时间序列分析，根据可靠水平将岩溶地下水进行了分类，对应于 95%、80%、50%、20%保证率下的岩溶地下水允许流量分别为： $0.25\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.23\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.39\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.57\text{ m}^3/\text{s}$ 。取理论频率曲线中概率 80%的流量值 $0.48\text{ m}^3/\text{s}$ 作为干旱截取水平，对 1991~1997 年的干旱历时和缺水量统计得到最严重干旱发生在 1993 年。岩溶泉流量时间序列携带了岩溶含水系统大量水动力特征信息，泉流量频率曲线分析可获得岩溶含水系统不同干旱情况下的泉流量允许值，为岩溶含水系统水资源的合理优化配置提供依据。

参考文献：

[1] 唐健生,夏日元,邹胜章,等. 新疆南天山岩溶系统介质结构特征及其水文地质效应[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2005,35(4):481-486. (TANG Jiansheng,XIA Riyuan,ZOU Shengzhang,et al. Characteristics of karst medium system and its hydrogeologic effect in the south Tianshan,Xinjiang[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2005,35(4):481-486. (in Chinese))
[2] 雒征,胡彩虹,郝永红. 岩溶泉水的研究现状与进展[J]. 水资源与工程学报,2005,16(1):56-59. (LUO Zheng,HU Caihong,HAO Yonghong,

- Review and prospect of the karst spring[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2005, 16(1): 56–59. (in Chinese))
- [3] 黄敬熙. 流量衰减方程及其应用——以洛塔岩溶盆地为例[J]. 中国岩溶, 1982(2): 118–126. (HUANG Jingxi. Recession equation and its application; case history of Luota karst basin [J]. Carsologica Sinica, 1982(2): 118–126. (in Chinese))
- [4] 杨立铮. 贵州普定后寨地下河岩溶水运动特征[J]. 中国岩溶, 1982(1): 18–26. (YANG Lizheng. Karst water movement in Houzhai subterranean river, Puding, Guizhou province [J]. Carsologica Sinica, 1982(1): 18–26. (in Chinese))
- [5] 李向国, 李敏, 叶晋岩, 等. 岩溶地下水水资源评价方法及应用实例[J]. 西部探矿工程, 2005, 106(3): 79–80. (LI Xiangguo, LI Min, YE Jinyan, et al. Karst groundwater resources evaluation methods and application examples [J]. West-China Exploration Engineering, 2005, 106(3): 79–80. (in Chinese))
- [6] Mangin, A. L'approche systématique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques [A]. Proc. Réunion Monographica Sobre el Karst, Larra [C]. 1982: 141–157.
- [7] Larocque M, Mangin A, Razack M, et al. Characterization of the LaRoche foucauld karst aquifer (Charente, France) using correlation and spectral analysis [J]. d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, 1998, 16: 49–57.
- [8] Padilla A, Pulido-Bosch A. Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis [J]. Journal of Hydrology, 1995, 168: 73–89.
- [9] Lee J Y, Lee K K. Use of hydrologic time series data for identification of recharge mechanism in a fractured bedrock aquifer system [J]. Journal of Hydrology, 2000, 229: 190–201.
- [10] Panagopoulos G, lambrakis N. The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst system: application on two typical karst aquifers of Greece (Trifolia, Almyros Crete) [J]. Journal of Hydrology, 2006, 329: 368–376.
- [11] 郎赞超, 刘丛强, 赵志琦, 等. 贵阳市地表水地下水组成: 喀斯特水文系统水-岩反应及污染特征 [J]. 水科学进展, 2005, 6(16): 826–287. (LANG Yunchao, LIU Congqiang, ZHAO Zhiqi, et al. Chemical compositions of surface and ground waters of Guiyang city: discussion of water-rock interaction and contamination in karstic hydrological system [J]. Advances in Water Science, 2005, 6(16): 826–287. (in Chinese))
- [12] 陈洪元, 陈邦宇, 陈波. 贵州省普定后寨岩溶小流域水文特性研究 [J]. 贵州地质, 2005, 22(4): 284–288. (CHEN Hongyuan, CHEN Bangyu, CHEN Bo. Lithologic characteristics of Houzhai karst small valley, Puding, Guizhou Province [J]. Guizhou Geology, 2005, 22(4): 284–288. (in Chinese))
- [13] 王腊春, 许有鹏. 贵州普定后寨地下河流域岩溶水特征研究 [J]. 地理科学, 2000, 20(6): 557–558. (WANG Lachuan, XU Youpeng. The characteristic study of karst water at Houzhai underground basin in Puding County, Guizhou Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(6): 558–562. (in Chinese))
- [14] 曾智, 宋松柏, 金菊良. Pair-copula 函数在多变量干旱特性联合概率中的应用 [J]. 水文, 2012, 32(1): 60–64. (ZENG Zhi, SONG Songbai, JIN Julinag. Application of Pair-copula Function in multivariable drought characteristics probability analysis [J]. Journal of China hydrology, 2012, 32(1): 60–64. (in Chinese))

Application of Spring Discharge Time Series to Identify Karstic Water Resources and Drought Characteristics: A Case Study on Houzhai Karstic Water System in Guizhou Province

LIU Lihong¹, LIU Qimeng¹, LI Xian²

(1. College of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology-water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Karstic spring discharge time series implied lots of information about hydrodynamic characteristics in Karstic water system, which can provide a way for Karstic water resources estimation and drought analysis. In this paper, the probability of exceeding curve was calculated based on the long spring discharge time series. According to the theoretical probability of exceeding curve, the permitting discharge rates are 0.25 m³/s, 0.23 m³/s, 0.39 m³/s and 0.57 m³/s corresponding respectively to 95%, 80%, 50% and 20% probability. Under the 80% probability cutting level, the most drought year is 1993 with the 135 drought days and 2.9×10⁶ m³ volume of water shortage. The theoretical probability analysis for the spring discharge is useful for the estimate Karstic water resources and drought characteristics, providing evidence for the reasonable water resources optimization.

Key words: Karstic water system; spring discharge; probability curve; permitting discharge rate threshold; drought characteristics