

## 喀斯特流域枯水研究

——以贵州省为例

孔 兰, 梁 虹, 姜维东

(贵州师范大学 地理与生物科学学院, 贵阳 550001)

**摘要:**由于喀斯特流域独特的水文地质条件,其枯水也较非喀斯特流域不同,以贵州省为例,从喀斯特水文地质学的角度,系统定义了喀斯特枯水,并分析了喀斯特流域枯水的特征和影响,提出了相应的开发利用措施,为以后的开发利用提供借鉴。

**关键词:**喀斯特;枯水;干旱;开发利用;措施

**中图分类号:**P333.3;P642.25

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)05-0315-02

## A Study on the Low-flow in Karst Drainage Basins

——A Case Study in Guizhou Province

KONG Lan, LIANG Hong, JIANG Wei-dong

(School of Geography and Biology, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Because of the unique hydrological and geological conditions in karst drainage basins, the karst low-flow is different from that in the non-karst drainage basins. From the angle of hydro-geography and landform in the karst areas, with a special reference to Guizhou Province, systematically defines the concept of karst low-flow and analyzes its characteristics and influence, puts forward the corresponding exploitation and utilization measures and offers reference for the exploitation and utilization in the future.

**Key words:** karst; low-flow; drought; exploitation and utilization; measures

当今世界水资源供需日益紧张,已成为制约许多地区经济可持续发展的重要因素。枯水问题受到了普遍关注,国内外已经有许多研究成果。但这些成果中,研究非喀斯特地区的较多,而属于喀斯特地区的则较少。枯水研究在国外开始较早,已有100多年的历史。国内最早是1959年赵人俊发表的“枯水”一文,此后十几年的发展较慢。近十几年随着技术的发展大大提高了我国研究枯水的能力,但尚处于较低水平。喀斯特流域系统是可溶性的双重含水介质,以及地表地下二元流场所组成的独特水文地貌结构及其产生的功能效应,使得其水系发育,水文动态上表现出与非喀斯特流域的巨大差异<sup>[1]</sup>。也增加了喀斯特流域水资源的开发利用难度。因此加强枯水研究,以便开发利用枯水,对于促进经济的可持续发展日趋重要。

### 1 喀斯特枯水的涵义

通过查阅水文方面的资料,有关枯水的专门研究极少,关于枯水的涵义至今也没有一个明确的解释,更不要说喀斯特枯水的涵义了。国外枯水研究较早,从Dausse's(1842)对于基流退水的研究可以算是枯水研究的开始,之后许多学者也主要集中研究基流,关于枯水的涵义并不是很明确。早期

的学者把基流也称之为地下径流、枯季径流、地下水出流、稳定出流等,认为其实质为河川径流中来自地下水或其他延迟水源的成分。顾慰祖等人(1983)认为枯水是一年中河流出现的最小径流或遇到特殊气候条件的年份,汛期时发生伏旱而出现的最小流量甚至断流,同时指出枯水并非枯竭之意。黄锡荃(1985)将枯水定义为河流断面上较小流量的总称且枯水经历的时期为枯水期(当月平均水量占全年水量的比例小于5%时)。另有学者认为枯水一般发生在地表径流终了后,河流水量完全由地下水补给的时候。

以上学者都是对非喀斯特流域枯水的认识,戴洪刚将喀斯特枯水定义为:喀斯特地区由于特殊的水文地质地貌条件下而导致的河流径流量较小或在特殊气候条件下,汛期时发生伏旱而出现的最小流量甚至断流的总称<sup>[2]</sup>。笔者认为喀斯特枯水(Karst low-flow)的涵义是:在地上地下双重含水介质的喀斯特流域结构下,降水较少的季节河流断面上较小流量的总称。

### 2 喀斯特流域枯水的特征

贵州省是我国南方喀斯特强烈发育的高原山区,属于亚热带季风气候。碳酸岩出露面积达13万km<sup>2</sup>,占全省总面积

收稿日期:2006-10-09

基金项目:贵州省优秀青年科技人才培养计划[黔科合人字(2003)0315];贵州省优秀科技教育人才省长专项资金[2003年度]

作者简介:孔兰(1973-),女,硕士研究生,主要从事喀斯特水文水资源与GIS研究。

的 73.8%<sup>[3]</sup>。年降雨量为 850~1 600 mm,多在 1 000~1 300 mm 之间,属于湿润地区。贵州省多以峰丛洼地、峰林盆地等地貌类型为主的中、小喀斯特流域,因发育有大量的地下水系和特殊的储水结构,因而也出现了特殊的枯水流量特征<sup>[4]</sup>。

### 2.1 差异性

由多年的《贵州省水资源公报》中各水文站的水文材料分析,时间上,全省河流枯水流量发生频率最高的是 3 月份,发生频次占全年的 21.3%,其次,4 月的发生频次占全年的 17.8%,1 月的发生频次占全年的 17.6%,12 月的发生频次占全年的 14.6%,这四个月的枯水占全年的 71.3%。一般枯水期在 11 月至次年的 4 月,不同的流域枯水出现的月份和持续的时间有时会有较大差别,甚至在 7,8 月份也会有枯水出现。空间上,由于降雨量、地貌类型等方面的不同,发生枯水的时间也不尽相同,如黔东南江中上游地貌以峰丛谷地为主,枯水期多发生在 9 月至翌年 3 月,而黔西南南北盘江流域以峰丛洼地、峰林盆地为主,枯水期多发生在 11 月至翌年 5 月。另外,在岩性方面,贵州省以灰岩为主的流域在各计算时段的枯季径流模数最小,以白云岩为主的流域枯季径流模数最大,以灰岩和白云岩混合的流域枯季径流模数居中<sup>[5]</sup>。随着喀斯特面积的增大,河网密度逐渐减小,干旱的发生也越来越频繁<sup>[2]</sup>(表 1)。当然流域上的空间尺度、植被、人为活动等都会造成喀斯特流域枯水的差异性,不再赘述。

表 1 喀斯特发育面积与干旱频率关系

县名	年均温/ ℃	年均 降水量/ mm	喀斯特面积占本县 面积的比重/%			河网密度/ (km· km <sup>-2</sup> )	干旱 发生的 频率/%
			面积 合计/%	溶蚀区/ % 溶蚀一侵 蚀区/%	溶蚀区/ % 溶蚀一侵 蚀区/%		
平塘	17	1259	87.2	37.7	49.5	0.276	90
荔波	18.3	1320	82.6	32.2	50.4	0.439	78
三都	18	1384	45.3	27.0	18.3	1.005	60

### 2.2 有限性

我国西南地区,拥有较多的水资源,云、贵、川、桂、藏的水资源总量约 13 000 亿 m<sup>3</sup>,占全国水资源总量的 46.4%,人均、单位面积均分摊的水量均居全国第一,开发潜力巨大。但是由于降水时空分布不均、岩溶分布广泛,降水很快变成难以开采的地下水,造成山高水低难以开发利用的局面。雨季虽然降水丰沛,但缺少调蓄,农村灌溉、饮水非常困难,亟待解决<sup>[6]</sup>。这些都反映了喀斯特流域枯水资源是非常有限的。

### 2.3 震荡性

枯水资源这个开放的系统本身受天文、气象、下垫面等因素的影响,不可避免地会造成水文系列的变异。随着社会生产力的迅速发展,特别是许多地区经济发展与环境保护不协调,因此,枯水资源也会同时在一定水平上下震荡。如由多年的《贵州省水资源公报》中的水文材料分析,贵州各地区的年降水量和枯季水量都是在多年平均的基础上上下震荡,有的年份偏丰,有的年份偏枯。从枯水资源的水质上来说,也有震荡性,工农业的发展、环境治理水平、降雨量等都会影响枯水的质量,使之在一定的基础上震荡。

## 3 喀斯特枯水的影响

### 3.1 干旱

世界气象组织<sup>[7]</sup>所给干旱的定义为“在较大相对长期平均水平而言降水减少,从而导致自然生态系统和雨养农业生产力下降”;对于喀斯特流域,学者王顺祥认为是“在喀斯特地区由于特殊的岩溶水文地质作用导致岩溶土层的持水时间短、耐旱能力下降并导致农作物减产或绝收的一种地质—气候过程”。枯水少到一定程度就会导致干旱,此时枯水资源自然供水满足不了自然及工农业最低限度的需水要求,从而造成生态环境退化、人畜饮水困难、工农业经济损失等。贵州省旱早占干旱总额的 59.9%,春旱次之,占 29.7%,而秋旱占 9.9%、冬旱占 0.5%。危害程度最大的首推夏旱,严重影响水稻和玉米的产量。因为夏季是贵州省大季作物(水稻、玉米等)的需水高峰,此时气温高,蒸发旺盛,供水减少,使旱情加重。

### 3.2 旱灾

当干旱的程度达到对人类环境产生冲突和破坏并导致生命和财产重大损失的时候,就变成了旱灾,建国以来,1959 年、1966 年、1972 年、1975 年、1981 年、1985 年、1999 年的大旱,受旱面积都在 66 万 hm<sup>2</sup> 左右。1990 年的特大旱灾,持续 103 d。在遵义一带,水稻减产 80%~90%,玉米减产 60%,有的田地甚至绝收,给农业造成巨大损失,从表 2 反映旱灾的严重性。据统计资料,连季旱和连年旱也多次出现,而且有严重趋势。这是由于受季风气候的影响,连续少雨月季或偏枯的年降水量。再加上水利工程设施薄弱,也导致了目前“雨多水少”,旱灾频发<sup>[8]</sup>。

表 2 贵州省灾害情况分析

喀斯特面积比重	平均受灾 强度/ (hm <sup>2</sup> · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	成灾 强度/ (hm <sup>2</sup> · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	成灾率/ %
	喀斯特面积比重>50%的县	4.8	
喀斯特面积比重<50%的县	1.87	1.7	57.94

资料来源:邓自民 1995 年统计。

## 4 喀斯特流域枯水开发利用对策

### 4.1 工程措施

贵州省是一个以山地为主的省份,高原、山原、山地约占全省总面积的 87%,丘陵占 10%。虽然降雨较丰富,但是降雨很快流入沟底,再加上贵州喀斯特地貌强烈发育,95%的县市有喀斯特分布,雨水很快渗漏到地下。建设各种蓄水、保水工程意义重大。

(1)水利工程。从各方面筹集资金维修、新建水库,以解决城市工业、居民生活、农业灌溉严重缺水状况。特别是因地制宜多修建小型水库,实践证明,象塘堰、小水池、小水窖在贵州许多山区能很好地解决群众旱地浇灌、生活用水问题。

(2)坡改梯。对于坡度大于 25°的坡耕地,积极动员并引导农民进行坡改梯。这项工程既治理坡面水土流失,又蓄水、保土、增产。

(下转第 323 页)

#### 4 结论

基于多元线性回归分析的理论和方法,应用统计软件 SPSS 12.0 对塔河中游胡杨林自然保护区地下水理化特性进行统计分析。结果表明:

(1)地下水埋深和 pH 与电导率、含盐量、总可溶性固体的相关系数不大。

(2)电导率和含盐量、总可溶性固体的相关系数分别为 0.974 和 0.984,含盐量与总可溶性固体的相关系数为 0.998,在  $P=0.01$  水平下显著,这说明电导率与含盐量、总可溶性固体;含盐量与总可溶性固体相关概率高达 99.9%,电导率与总可溶性固体、含盐量存在高度正相关性,总可溶性固体、含盐量其中任何一个变化都会引起电导率的变化。

(3)应用统计软件 SPSS 12.0 得出电导率与总可溶性固体、含盐量回归模型: $y=3.156X_1-2.162X_2$ (置信系数取  $\alpha=0.05$ )。

#### 参考文献:

- [1] 樊自立,马英杰,张宏,等.塔里木河流域生态地下水位及其合理深度确定[J].干旱区地理,2004,27(1):67-69.
- [2] 陈永金,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河下游地下水化学特征对生态输水的响应[J].地理学报,2005,(60):51-53.
- [3] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态问题研究[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000.
- [4] 李立人.百口泉地下水电导率与溶解性总固体相关性讨论[J].水污染治理油气田环境保护,1998,(9):3-15.
- [5] 陈果平.地下水电导率与总硬度相关关系的研究[J].技术交流,2000.110-111.
- [6] 李立人.地下水电导率与溶解性总固体相关性探讨[J].干旱环境监测,1999,13(2):34-35.
- [7] 杜鹏飞,李虹,海春兴,等.阴山北麓春季土壤含盐量及其与电导率的关系研究[J].内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2006,35(2):23-25.
- [8] 吴诗怡.塔克拉玛干沙漠地下水矿化度与电导率关系的研究[J].中国沙漠,1996,16(4):34-36.
- [9] 姚井华.用电导率测定地下水矿化度[J].中国环境监测,1986,2(2):31-33.
- [10] 李刚,王永冰.昌吉市地下水中离子总量与电导率间关系研究[J].地下水,1995,17(4):23-26.
- [11] 张宏安,曹海涛,李晓铃,等.塔里木河干流输水堤建设两岸天然植被的影响及保护对策[J].水电站设计,2004,20(1):56-58.
- [12] 伏小石,张平,张化,等.地下水 pH 值、电导率和浊度实时监测仪器[J].仪表技术与传感器,2004,11(3):45-48.
- [13] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1989.199-202.
- [14] 吴诗怡.塔克拉玛干沙漠地下水矿化度与电导率关系的研究[J].中国沙漠,1996,16(4):87-89.

(上接第 316 页)

#### 4.2 生物措施

生物措施主要包括植树造林、草地建设等,增加土地的蓄水能力,提高枯水的可利用量。从长远利益来看,这是最治本的措施。1989 起贵州省各地实施了“长江上游水土保持重点防治工程”,长治工程每年投资 2 000 万元,以流域水系为单元,以恢复和增加森林植被为中心,以遏止水土流失为重点<sup>[8]</sup>。各级政府也加大了力度进行治理,通过封山育林等,取得了明显成效,贵州的森林面积覆盖率由 2000 年的 30% 增加到 2005 年的 35%。喀斯特地区的枯水量有较大提高,但面对近几年工农业的快速发展、人口较快增长,需水量显著提高,枯季水资源问题还没有根本解决。

#### 4.3 建设节水型社会

多山的贵州喀斯特地区,田高水低,取水困难,在技术和自然条件的约束下,要提高全民的节水意识,通过枯水资源的合理开发、高效利用,逐步解决城市和乡村的枯水资源的供需矛盾。贵州省的农业用水占总用水量的 55% 以上,而灌溉利用系数只有 0.3~0.5,节水潜力非常大。提高灌溉技术,进行喷灌、滴灌、土中渗灌等。另外,工业用水效率也较低,为了最大限度的减少资源的消耗量,可以进行水资源的循环利用、一水多用等。

#### 4.4 防治水污染

随着经济的飞速发展,城市化的进程加快,工业废水和生活污水的排放量也在不断增加,水体污染日趋严重,加之

贵州省还有一些地区污水处理设施较滞后,不达标的污水排放到环境又会造成其它水体的污染,更加剧了枯水资源的供需矛盾。为此,城市地区应加大污水处理厂的建设,采用先进的污水处理技术,提高水的回收利用;农村地区应加强化肥、农药的合理利用,积极发展高效低残留的农药和化肥。

致谢:工作期间得到梁虹导师的悉心指导。

#### 参考文献:

- [1] 杨明德,谭明,梁虹.喀斯特流域水文地貌系统[M].北京:地质出版社,1998.2-23.
- [2] 戴洪刚,梁虹,黄法苏.喀斯特枯水、干旱、灾害初探—以贵州省为例[J].贵州师范大学学报,2005,23(4):28-32.
- [3] 高贵龙,邓自民,熊康宁,等.喀斯特的呼唤与希望——贵州喀斯特生态环境建设与可持续发展[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.
- [4] 梁虹.喀斯特流域空间尺度对洪水、枯水水文特征值影响初探——以贵州河流为例[J].中国岩溶,1997,16(2):122-128.
- [5] 梁虹,王剑.喀斯特地区流域岩性差异与洪、枯水特征值相关分析[J].中国岩溶,1998,(1):67-73.
- [6] 刘昌明.水文水资源研究理论与实践[M].北京:科学出版社,477-481.
- [7] World Meteorological Organization. International Meteorological Vocabulary (2nd)[C]. WMO, 1992.
- [8] 贵州省防汛抗旱指挥部办公室,贵州省水文水资源局.贵州水旱灾害[M].贵阳:贵州人民出版社,1999.8-10.