

# 人类活动影响下的滇池流域城市水文效应初探

张翠兰,李显鸿

(云南省水文水资源局昆明分局,云南昆明650051)

**摘要:**滇池流域人类活动频繁,引发该流域生态环境和流域下垫面的变化,导致产、汇流特性发生改变。以滇池流域为例,选择该流域盘龙江、海河、小清河、明通河、乌龙河长期观测的降水、径流资料,分析研究人类活动影响下该区域产、汇流的变化情况。研究表明,城市化后产、汇流特征发生改变,表现为净雨量增大,径流量增加,洪量模数加大等。

**关键词:**人类活动;水文效应;降雨量;滇池流域

中图法分类号:TV121 文献标志码:A

随着现代新昆明发展战略的提出,昆明城乡规事业进入迅速发展期。滇池流域是昆明经济社会发展最快、经济活动最活跃的地区,城市化进程加快促使该地区生态环境发生很大的变化,对流域地貌特征也产生相应影响。因此,本文选择滇池流域盘龙江、海河、小清河、明通河、乌龙河等长期观测的降水、径流资料,分析产、汇流特征变化情况。

## 1 滇池流域基本情况

滇池流域(因滇池水域分隔,习惯将滇池以上称为滇池流域)为长江干流金沙江右岸一级支流普渡河上段。该区域气候属北亚热带,是典型的高原季风气候,具有年降雨量集中程度高、光热资源条件好、降雨量中等略偏丰、干湿季分明的特点。区域多年平均降雨量为890~1000 mm,年内分配十分不均匀,6~9月降雨量占全年的60%左右。降雨量在空间分布上也非常不均匀,与相近高度雨量相比,表现为自北向南逐渐减小;若与同一坡面雨量相比,则呈自下而上递增的规律。滇池流域内水系呈不对称发育,有盘龙江、大清河等35条河流呈向心状注入滇池湖,其总面积为2420 km<sup>2</sup>,占滇池流域面积的82.9%;其中13条河流上游相继建有20余座大、中、小型水库,在防洪与兴利方面发挥了重要的作用。

## 2 对流域水文特征的影响情况

### 2.1 对流域产流特性的影响

根据现有资料,选取区域下垫面状况相似的盘龙江、海河、小清河、明通河4个断面为代表,并选取各断面1995~1998年和2001~2006年实测雨量、洪水资料作为样本。将选出的同期雨量采用算术平均法计算控制断面以上流域面时段降雨量。计算次降雨对应的径流深(包括地表、基流),其中次洪历时根据各控制断面实测降雨、径流过程起止点综合确定,地表、基流的划分采用斜线分割法确定。采用面积包围法计算场次降雨对应的地表径流深,基流根据实测最小值确定。计算各河道控制断面次降水径流量,并计算一次降雨对应的径流系数,结果见表1。

根据表1中次降雨量、径流深,建立城区河流降雨径流关系综合图(见图1),从图中可看出,点据分布呈带状,计算相关系数均在0.95以上,采用最小二乘法计算得降雨径流回归方程,结果见表2。

由表2和图1可看出,昆明主城代表河道各控制断面径流系数变化较大,其变幅在0.37~0.84之间,其中明通河、小清河等城区建筑密度大、硬化面积比重大,其径流系数多数超过0.60,盘龙江、海河等硬化面积比重相对较小,径流系数一般小于0.50。与相同气

候成因的山区河流相比,径流系数具有明显增大现象。此变化客观地反映了随着人类活动频繁的影响,屋顶和硬质地面等不透水面积大幅增加,产流参数有明显增大趋势,净雨量随之增大。

表 1 各控制断面次降雨径流成果

河名	断面	面积/ km <sup>2</sup>	次降雨量/ mm	次径流深/ mm	径流 系数
盘龙江(松华 坝、源清、金 殿至昆明站 区间)	昆明	124	23.8	8.8	0.37
			16.1	6.4	0.40
			69.3	25.9	0.37
			93.5	34.9	0.37
			45.0	20.4	0.45
海河(东白沙 河至小二桥 区间)	小二村	28.75	16.9	6.73	0.40
			13.0	5.35	0.41
			25.6	10.0	0.39
			68.5	47.8	0.70
			68.0	45.1	0.66
小清河	小二桥		113.0	77.5	0.69
			65.3	46.0	0.70
			21.3	15.0	0.70
			5.7	3.3	0.58
			42.0	34.3	0.82
明通河	南窑	8	57.3	48.0	0.84
			66.9	55.8	0.83
			16.8	14.1	0.84
			13.0	10.8	0.83

表 2 代表河流场次降雨径流关系

河名	断面	关系式	不透水面积占比/%
盘龙江	松华坝、源清、 金殿至昆明站 区间	$R = 0.0002P^2 + 0.3813P$	53.2
小清河	小二桥	$R = 0.0001P^2 + 0.6777P$	75
明通河	南窑	$R = 0.0001P^2 + 0.8406P$	90
海河	小二村	$R = 0.0002P^2 + 0.3925P$	54

注:R为次径流深,mm;P为一次降水的面积平均雨量,mm。

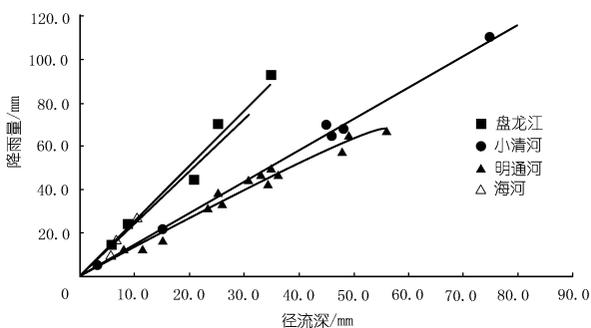


图 1 昆明主城代表河道降雨径流关系

## 2.2 对流域汇流特性的影响

在该流域汇流系统中,净雨过程为系统输入,选取纳希瞬时单位线函数为系统响应函数,洪水过程作为系统输出,系统响应的滞时就是流域纳希瞬时单位线

滞时。纳希瞬时单位线方程式:

$$u(0,t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (1)$$

式中, $\Gamma$ 为伽玛函数; $n$ 为反映流域调蓄能力的参数,相当于线形水库的个数或水库的调节次数; $K$ 为线形水库的蓄泄系数,相当于流域汇流时间的参数,具有时间因次。

由式(1)可看出,该单位线数学表达式中涉及参数仅为 $n$ 、 $k$ 值。

我国部分地区实测暴雨洪水资料的分析表明,汇流参数与主净雨强度之间可建立关系,滞时与主净雨强度可建立如下关系式:

$$m = n \cdot k = \alpha \cdot i^{-\beta} \quad (2)$$

式中, $i$ 为主净雨强度,mm/h; $\alpha$ 、 $\beta$ 为待定参数; $m$ 为流域滞时,h。

选择滇池流域4条河道共5个控制断面各次洪水资料计算汇流参数、滞时以及对应的 $m \sim i$ 关系,按其特点定线并经最小二乘法计算得待定参数分别为 $\alpha$ 、 $\beta$ ,结果见表3。

表 3 各站  $m$  与  $n$ 、 $i$  关系

河流	断面	洪号	主净雨强度 $i$ / (mm·h <sup>-1</sup> )	$n$	$k$	$m = nk$	$m \sim i$ 关系	
盘龙江	松华坝、源清、 金殿至昆明站 区间	20040709	5.8	1.3	19.8	25.74	$m = 24.55i^{-0.0027}$	
		20050719	6.2	1	19.9	19.9		
		20030807	6.7	1.7	14.5	24.65		
		950725	4.8	1.9	1.5	2.85		
		970725	6.3	1.9	3.6	6.84		
		970729	12.4	1.9	6	11.4		
		970801	14.8	1.9	5.6	10.64		
		980610	7.5	1.9	6.6	12.54		
		980624	8.2	1.9	6	11.4		
		小清河	小二桥	20020613	26.0	1.9	7.2	13.7
20020624	19.1			1	5.3	5.3		
张家沟	20020613			27.3	1	7.1	7.1	$m = 6.4i^{-0.0065}$
20020624	11.9			1	4.8	4.8		
乌龙河	大观园餐厅	20020613	41.9	1	11	11	$m = 8.1811i^{-0.0862}$	
		20020624	10.5	1	6.8	6.8		
		20030807	17.8	1.5	4.5	6.75		
		20030907	7.8	1	6.6	6.6		
		980618	5.9	1	8.5	8.5	$m = 7i^{-0.019}$	
明通河	南窑	980621	3.7	1	10	10		
		980715	3.1	1	4.5	4.5		
		980725	3.5	1	4.5	4.5		

从分析结果看,在排水通畅条件下,城市化后,建筑密度大、硬化面积比重大的明通河、小清河相比不透水面积比重小的盘龙江汇流时间缩短。城市化后河流洪水呈涨落较缓而峰值附近稍平的对称型过程,将城

## 4 展望

当前,城镇化水平快速提高,工业城市用水量急剧上升,严重挤占了农业用水。为保证粮食生产安全,农业生产应该改变以往的管理模式,发展和完善农业测墒管理技术模式。测墒管理的目的是在农业生产中走“适水发展,逐水发展”的道路,提高单位水资源的利用价值。同时,对农田土壤湿度的监测和计算,是合理利用有限的农业水资源,提高水资源利用效率的前提条件。随着计算机技术的发展,测量手段的丰富,将显著提高大尺度农田土壤湿度的监测和获取的精度和效率,也对提高农业干旱的监测水平,做好旱灾应急预案等工作都具有重大意义。

### 参考文献:

- [1] 王振龙, 高建峰. 实用土壤墒情监测预报技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [2] 黄芳, 徐红松, 齐青青. 土壤水分测试技术研究进展[J]. 安徽农学通报, 2007, (11): 76-77.
- [3] 张学礼, 胡振琪, 初士立. 土壤含水量测定方法研究进展[J]. 土壤通报, 2005, (1): 118-123.
- [4] 刘思春, 高亚军, 王永一, 等. 土壤水势测定方法的选择及准确性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, (4): 189-192.
- [5] 田昌玉, 孙文彦, 林治安, 等. 中子仪测定土壤水分方法的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, (18): 7-11.
- [6] 姜永清.  $\gamma$ -辐射测定土壤密度和含水量的研究近况[J]. 土壤学进展, 1982, (3): 42-48.
- [7] 吴月茹, 王维真, 晋锐, 等. TDR 测定土壤含水量的标定研究[J]. 冰川冻土, 2009, (2): 262-267.
- [8] 郭卫华, 李波, 张新时, 等. FDR 系统在土壤水分连续动态监测中的应用[J]. 干旱区研究, 2003, (4): 247-251.
- [9] 土壤水分的几种测试方法 - 中国农业仪器网[EB/OL]. [http://www.top17.net/news\\_info/373.html](http://www.top17.net/news_info/373.html).

- [10] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的土壤湿度遥感方法研究[J]. 自然灾害学报, 2004, (3): 81-88.
- [11] 肖斌, 沙晋明. 土壤水分遥感反演方法概述[J]. 遥感信息, 2007, (6): 94-98.
- [12] 刘春国, 卢晓峰, 高松峰. Landsat-7 ETM+ 热红外波段高低增益状态数据反演亮度温度比较研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2011, (5): 561-566.
- [13] Kahle A B. A simple thermal model of the earth's surface for geologic mapping by the remote sensing[J]. Journal of geophysical research, 1977, 82(11): 1673-1680.
- [14] 高峰, 王介民, 孙成权, 等. 微波遥感土壤湿度研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2001, (2): 97-102.
- [15] 钟若飞, 郭华东, 王为民. 被动微波遥感反演土壤水分进展研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, (1): 49-57.
- [16] 赵少华, 秦其明, 沈心一, 等. 微波遥感技术监测土壤湿度的研究[J]. 微波学报, 2010, (2): 90-96.
- [17] 姜森, 李国春. 微波遥感土壤湿度研究进展[J]. 农业网络信息, 2006, (4): 21-23.
- [18] Evans D L. Current status and future developments in radar remote sensing[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1992, 47(2): 79-99.
- [19] 高峰, 李建平, 王黎黎, 等. 土壤水运动理论研究综述[J]. 湖北农业科学, 2009, (4): 982-986.
- [20] 李明星, 马柱国, 杜继稳. 区域土壤湿度模拟检验和趋势分析——以陕西省为例[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, (3): 363-379.
- [21] Fasinmirin J T, Olufayo A A, Oguntunde P G. Calibration and validation of a soil water simulation model for field grown *Amaranthus cruentus* [J]. International Journal of Plant Production, 2008, 2(11): 269-278.
- [22] 王润冬, 陆垂裕, 孙文怀, 等. 基于 MODCYCLE 模型的农田降水入渗补给研究[J]. 人民黄河, 2011, (4): 51-53.
- [23] 汪薇, 张瑛. 陆面过程模式的研究进展简介[J]. 气象与减灾研究, 2010, (3): 1-6.

(编辑: 常汉生)

(上接第 62 页)

区河道各区间洪峰流量换算为洪峰模数(其范围在  $0.90 \sim 2.73 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$  之间)再与同标准山区河流(如小河、完家村、摆夷河站)洪峰模数(其范围在  $2.18 \sim 6.77 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$  之间)相比,较之为小,洪量模数较之为大。因此,洪峰模数相对山区河流为小,而洪量模数则大。

## 3 结语

城市化后下垫面的滞水性、渗透性等各种因素均

发生明显的变化,导致该地区的雨水产汇流特征发生改变,其表现为净雨量增大,径流量增加,洪峰模数减小,洪水汇流时间缩短等。

近几年来滇池流域森林覆盖面积不断增加,有效地改善了自然环境,且入滇河流的整治工程和外流域引水济昆的工程也纳入政府工作中,一定程度上缓解了滇池流域水资源紧缺的问题。

(编辑: 李慧)