

城市雨水管理

北京山区 SCS 模型参数研究

胡晓静¹, 吴敬东¹, 张耀方¹, 李添雨¹, 李世荣²

(1. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048; 2. 北京市水土保持工作总站, 北京 100038)

摘要: 径流曲线数模型(SCS模型)计算径流准确方便,该模型只有一个综合参数即径流曲线数(CN),它与土地利用、坡度、土壤类型以及前期土壤湿度等因素有关。基于北京山区坡地径流场2007年—2013年的降雨径流观测数据,计算了山区不同土地利用、土壤水文组的CN值,结果表明,计算得到的CN值能真实反映北京山区的径流特征,可用于北京山区的径流估算。

关键词: SCS模型; 径流曲线数; 径流计算; 北京山区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)03-0125-04

Study on Parameters of SCS Model in Beijing Mountainous Area

HU Xiao-jing¹, WU Jing-dong¹, ZHANG Yao-fang¹, LI Tian-yu¹, LI Shi-rong²

(1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2. Beijing Soil and Water Conservation Center, Beijing 100038, China)

Abstract: The Soil Conservation Service (SCS) model is accurate and convenient for runoff calculation. The model needs only one comprehensive parameter, the curve number (CN), which is related to land use, slope, soil type and antecedent soil moisture. Based on rainfall runoff observational data of slope runoff field in Beijing mountainous area from 2007 to 2013, the CN values were calculated under different land utilization and soil hydrological groups. The results showed that the calculated CN values could accurately reflect the runoff characteristics of Beijing mountainous area and be applied to runoff estimation in Beijing mountainous area.

Key words: SCS model; curve number; runoff prediction; Beijing mountainous area

近年来,北京山区下垫面受人为活动影响剧烈,遇到暴雨时山区河流极易引发山洪,给人民生命和财产造成损失,如“7·21”暴雨造成北京市79人伤亡,13区县全部受灾,经济损失达161亿元。对于山区河道管理而言,采用水文模型,模拟暴雨洪水过程,可实现保障山区河道防洪安全,有效应对洪涝灾害。

计算山区径流宜采用简易径流模型,目前在山

区的径流计算中,研究人员常采用美国农业部水土保持局的径流曲线数模型——SCS模型^[1~5]。该模型只有一个综合参数即径流曲线数(CN),它与土地利用、坡度、土壤类型以及前期土壤湿度等因素有关。北京地区CN参数研究相对较少,由于各地区地形、土壤的差异,CN值差异较大,因此,确定北京山区不同水文土壤组和土地利用方式下的CN值,可为准确计算山区径流、保护水源及有效应对洪涝

灾害提供技术支撑。

1 研究区域及方法

1.1 研究区概况

北京市地处华北平原北端,燕山山脉和太行山脉交汇处,山区面积占全市总面积的 2/3。该地区属于典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,全年平均气温为 14.0℃,多年平均降水量为 585 mm。北京市土壤共划分为 7 个大类、17 个亚类,其中褐土、潮土所占比例较大,分别为 64.95% 和 24.7%。

1.2 研究资料

本研究采用北京山区密云、延庆等 6 个坡地径流场 2007 年—2010 年以及门头沟、房山等 4 个坡地径流场 2007 年—2013 年的降雨径流观测数据,据此计算北京山区不同土地利用、水文土壤组的 CN 值。

① 水文土壤组划分

水文土壤组反映土壤入渗能力的强弱。美国土壤保持局将土壤划分为 A、B、C、D 四大类型,其土壤入渗能力依次减弱,饱和导水率 K_s 值分别为 >180 、 $18 \sim 180$ 、 $1.8 \sim 18$ 、 <1.8 mm/h^[4]。本研究中北京水文土壤组的划分采用符素华等^[6]的研究结果,即北京地区大部分土壤的水文土壤组类型是 B,仅有少部分砂壤土属于水文土壤组 A 类。

② 前期土壤湿度分级

土壤湿度条件不同,对 CN 值有较大影响,因此应用不同前期土壤湿度条件的 CN 值才更具实际意义。美国土壤保持局引入了前期降水指数来考虑前期土壤湿度对径流的影响,前期降水指数在数量上为降雨前 5 d 的降雨总量。根据前期降水指数,土壤前期湿度条件(AMC)可划分为干旱(AMC1)、正常(AMC2)和湿润(AMC3)3 级(见表 1)^[4,5]。不同土壤前期湿度条件下对应的径流曲线数值分别为 CN1、CN2、CN3。

表 1 土壤前期湿度条件分类

Tab. 1 Classification of antecedent moisture condition of soil

项 目		AMC1	AMC2	AMC3
前 5 d 降雨 总量	生长期	<35.6	35.6 ~ 53.3	>53.3
	休闲期	<12.7	12.7 ~ 27.9	>27.9

1.3 研究方法

依据 SCS 模型的计算原理,基于水量平衡方程,假定实际地表径流深(Q)与可能最大径流深的

比值等于实际入渗量(F)与土壤潜在蓄水能力(S)之比,初损(I_a)是土壤潜在蓄水能力(S)的一部分,最终推导得出以下计算公式:

$$S = 5[P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{\frac{1}{2}}] \quad (1)$$

$$CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2)$$

式中, P 为降雨量,mm。

把坡地径流场中每个径流试验小区的降雨径流资料代入式(1)和式(2),计算出每一场实测降雨径流数据对应的 S 及 CN 值,然后取算术平均值得到该小区的最终 CN 值。

北京地区大部分土壤是水文土壤组 B 类,因此,计算得到的 CN 值基本代表了 B 类水文土壤组的 CN 值。对于 A 类水文土壤组的 CN 值可通过美国土壤保持局给出的 A、B 两类 CN 值的比例反推获得。

2 结果与分析

2.1 前期土壤湿度特征

分别对 7 个山区县的坡地径流场历年观测的降雨产流进行统计分析,结果表明,降雨场次远大于产流场次。以下以门头沟担礼坡地径流场 2007 年—2013 年的统计数值为例进行说明。2007 年—2013 年,门头沟年降雨量均值为 513 mm,尽管监测年份降雨场次较多,但产生径流的场次比例不高,最高出现在 2007 年,产流比例达到 32.0% (见表 2)。

表 2 门头沟担礼径流场的降雨产流情况

Tab. 2 Rainfall runoff in runoff field of Mentougou Danli watershed

项 目	降雨量/mm	最大雨强/(mm·h ⁻¹)	降雨场次	产流场次	产流比例/%
2007 年	483.5	48.0	50	16	32.0
2008 年	583.9	34.8	86	12	14.0
2009 年	354.3	38.1	61	14	23.0
2010 年	453.1	17.7	70	12	17.1
2011 年	464.9	24.0	70	14	20.0
2012 年	760.8	28.8	63	13	20.6
2013 年	491.0	17.4	103	10	9.7

对北京山区的产流事件按土壤前期湿度条件进行划分,西部、北部山区土壤前期湿度条件为 AMC1 的产流次数占总产流次数的比例分别为 82.9% 和 86.8% (见表 3)。可见,北京降雨产流的土壤前期湿度条件以干旱居多。采用 AMC1 计算得到的 CN 值基本上代表的是干旱状态的 CN 值。

表 3 北京山区产流事件分类

Tab. 3 Classification of runoff events in Beijing mountainous area

项 目		产流比例/%			数据时段
		AMC1	AMC2	AMC3	
西部太行山区	房山	83.7	7.6	8.7	2007 年—2013 年
	门头沟	82.1	14.9	3	2007 年—2013 年
	均值	82.9	11.3	5.9	
北部燕山区	昌平	88.9	5.6	5.6	2007 年—2010 年
	延庆	93.9	1.6	4.6	2007 年—2010 年
	密云	75.0	10.4	14.6	2007 年—2010 年
	怀柔	92.9	4.6	2.5	2007 年—2010 年
	平谷	83.3	8.3	8.3	2007 年—2010 年
	均值	86.8	6.1	7.1	

2.2 径流曲线数CN

对 7 个山区县 2007 年—2013 年径流场各径流小区的降雨径流数据进行统计分析,获得了旱地、果园、林地、草地等几种主要土地利用类型下,不同下垫面措施的径流曲线 CN1 值,如表 4 所示。

表 4 北京山区不同水文土壤组及下垫面条件下的 CN1 值

Tab. 4 CN1 values of different hydrological soil groups and underlying surface in Beijing mountainous area

项目	下垫面状况			不同水文土壤组下的 CN1 值	
	生物措施	工程措施	覆盖度/%	A	B
旱地	—(休闲坡耕地)	—	—	77.7	86.8
	玉米	—	—	72.7	82.1
	大豆	—	—	70.1	79.1
	—	梯田	—	69.1	77.4
	蔬菜	梯田	—	64.2	73.5
果园	京白梨、仁用杏、核桃等	树盘	—	50.7	74.9
	苹果	大水平条	65~70	43.8	64.8
	苹果、核桃、枣树等	小水平条	—	49.6	73.3
林地	松、侧柏	水平条	—	30.1	54.5
		鱼鳞坑	—	31.5	57.0
灌木林地	荆条、山桃、白草	—	>80	26.5	63.6
		—	60	26.9	64.5
		—	30	58.0	80.9
		—	20	59.0	82.4
		—	10	59.8	83.4
		—	5	59.9	83.6
草地	—	—	>60	37.1	52.9
	—	—	45~60	46.4	66.2
	—	—	<30	53.1	75.7

由表 4 可知,下垫面的生物措施和工程措施均

起到了截流和增加入渗的作用,从而使地表径流量减少。以 B 类水文土壤组的计算结果为例,不同土地利用下的旱地、灌木林和草地的 CN1 值依次降低;同一土地利用条件下,有无措施及不同措施类型对应的 CN1 值也存在较大差异,如旱地,休闲地的 CN1 值为 86.8,而种植玉米、大豆的 CN 值分别为 82.1 和 79.1,种植蔬菜且有梯田工程措施的 CN1 值为 73.5,表明水土保持的生物、工程措施增加了入渗,有效降低了地表径流量。另外,植被覆盖度对 CN1 值的影响也较为显著,植被覆盖度越高,则 CN1 值越小,地表径流相对减少,如灌木林地,覆盖度为 >80%、60%、30%、10% 时 CN 值分别为 63.6、64.5、80.9 和 83.4,但当覆盖度在 30% 以下时,CN1 值变化并不显著。

表 4 中给出了近 7 年径流小区监测数据计算得到的 CN1 值,主要包含山区几种主要的土地利用类型。但对于居民点及工矿用地、商业服务及公共用地、交通运输用地、水利设施用地等,由于 CN 值主要受下垫面的透水性、不透水面积比例及植物种植区的覆盖度等因素影响,这几类建设用地的 CN 值可参考国内外现有 CN 查算表中提供的数值。

符素华等^[6]根据 2007 年以前北京山区径流监测数据计算了 CN 值,与本研究结果的对比见图 1。

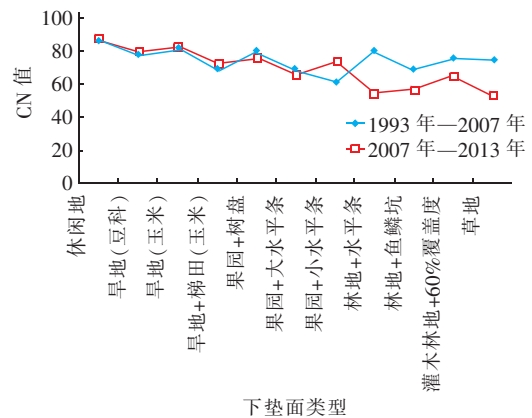


图 1 不同时段北京地区 B 类水文土壤组的 CN 值对比

Fig. 1 Comparison of CN values of B-level hydrological soil group in different periods in Beijing mountainous area

对比 2007 年前后两个时段的 B 类水文土壤组的 CN 值可知,旱地土地利用类型下,2007 年之后的 CN 值比 2007 年之前普遍增大;除布设小水平条的果园地外,果园、林地、草地等几种山区主要土地利用类型的 CN 值在 2007 年之后普遍比 2007 年之前

要小。本研究得出的2007年—2013年时段的CN值更能代表近期北京山区径流特征,可作为水文模型模拟中主要土地利用类型的径流曲线参数数值。

3 结论

依据北京山区2007年—2013年的监测数据计算得到了不同土地利用类型、不同措施下的CN值;同时与前期研究结果进行对比,本研究得出的CN值更能代表近期北京山区径流特征。应用计算得到的CN值,并使用径流曲线SCS模型,可快速准确模拟山区洪水过程,研究结果可为山区水源保护及有效应对洪涝灾害提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 郭晓军,王道杰,庄建琦. SCS模型在干热河谷区坡面产流模拟中的应用[J]. 中国水土保持科学,2010,8(5):14-18.
- [2] 张卫,张展羽,杨洁. SCS模型在红壤土地降雨径流量估算中的应用[J]. 水土保持通报,2014,34(5):124-127.
- [3] 陈正维,刘兴年,朱波. 基于SCS-CN模型的紫色土坡地径流预测[J]. 农业工程学报,2014,30(7):72-81.
- [4] Huang M, Gallichand J, Dong C, *et al.* Use of soil moisture data and curve number method for estimating runoff in

the Loess Plateau of China[J]. Hydrol Process,2007,21(11):1471-1481.

- [5] Fu S, Zhang G, Wang L, *et al.* Initial abstraction ratio in the SCS-CN method in the Loess Plateau of China[J]. Transactions of the ASABE,2011,54(1):163-169.
- [6] 符素华,王红叶,王向亮,等. 北京地区径流曲线数模型中的径流曲线数[J]. 地理研究,2013,32(5):797-807.



作者简介:胡晓静(1978-),女,辽宁阜新人,博士,高工,主要从事水生态、水土保持等方面的研究工作。

E-mail:hxj7811@163.com

收稿日期:2017-07-23

(上接第124页)

参考文献:

- [1] Ruiz-Hernando M, Martinez-Elorza G, Labanda J, *et al.* Dewaterability of sewage sludge by ultrasonic, thermal and chemical treatments[J]. Chem Eng J,2013,230:102-110.
- [2] Ruiz-Hernando M, Simón F X, Labanda J, *et al.* Effect of ultrasound, thermal and alkali treatments on the rheological profile and water distribution of waste activated sludge[J]. Chem Eng J,2014,255:14-22.
- [3] 毛华臻. 市政污泥水分分布特性和物理化学调理脱水的机理研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- [4] 冯银芳,宁寻安,巫俊楫,等. 超声耦合高铁酸钾对印染污泥脱水性能的影响[J]. 环境工程学报,2016,10(7):3787-3792.
- [5] 杨金美,张光明,王伟. 超声波强化给水污泥沉降和脱水性能的研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2006,7(11):58-61.
- [6] 朱广峰,楼成淦,金进,等. 超声预处理实现A²O系统

剩余污泥减量的研究[J]. 轻工科技,2016,(12):87-89.



作者简介:申晓娟(1989-),女,河北邢台人,硕士,主要研究方向为水处理技术及应用。

E-mail:shenboxiaojuan@163.com

收稿日期:2017-07-15