

小型集水区降雨径流计算模型研究

徐秋宁, 马孝义, 娄宗科, 姬雅珍

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要: 用SCS降水-径流模型对陕北渭北多个典型小型集水区降雨径流量进行了分析与计算。结果表明: SCS降水-径流模型考虑了径流与土壤特性和土地利用情况的关系, 简单易行, 所需参数少, 是一种较好的小型集水区径流计算方法, 可用于小流域、沟道等小型集水区可集雨量的计算。还分析了模型参数与陕北、渭北土壤分区特征的关系, 确定了陕北渭北不同分区的模型参数。

关键词: 可集雨量; SCS模型; 土壤分区

中图分类号: S273.29

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)01-0139-04

Research on SCS Model of the Small Watershed Rain Runoff Calculating

XU Qiu-ning, MA Xiao-yi, LOU Zong-ke, JI Ya-zhen

(Water Conservancy and Architecture College, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry,
Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: SCS model is applied to calculating runoff amount of several typical small watersheds of North of Shaanxi and Weibei. The result shows that SCS model, which describes the relationship between runoff and soil characteristics and land utilization, is simple and needs less parameters, and can be used for calculating water harvesting amount of small watershed. The relationship between model parameters and soil characteristics is analyzed. The model parameters of different districts of north of Shaanxi and Weibei is decided.

Key words: water harvesting amount; SCS model; soil dividing district

1 问题的提出

集雨节灌是一项亟待开发的水资源高效利用技术,是提高旱地农业生产力的新途径,对防治水土流失,改善生态环境,“再造一个山川秀美的西北地区”具有十分重要的意义。伴随着旱区农业的迅速发展和水资源危机态势日益加剧,该项技术日益受到人们的重视,并在我国北方旱区得到了迅速推广与应用。甘肃的121雨水集流工程、内蒙古的1211雨水利用工程、宁夏的窑窖农业工程、陕西的“甘露工程”等都取得了显著效益^[1,2]。该项技术在南方许多缺水山区也得到迅速推广,并已形成了公路集雨,村庄庭院集雨,小流域、沟道修建低坝、人字闸导引雨水,山

坡、荒坡地、坡耕地沿等高线修建截流沟导引雨水,水泥、塑膜及三合土及其它人工集流面等多种不同的集雨模式,特别是利用小流域、沟道和坡地集雨,集水面积大,单位集水量工程投资小的特点,具有广阔的发展前景^[7,8]。但如何估算集雨区的可集雨量,从而对集雨工程进行系统规划,确定合理的蓄水窑窖和水池的容积和数量,防止由于可集雨量估算偏小造成的雨水资源浪费,或可集雨量估算偏大,蓄水工程过多,无水可集而造成的工程设施浪费,是该项技术在推广应用中的一个亟待解决的技术问题。

过去对这一问题,许多专家学者和工程技术人员大多是在部分地区通过小面积野外定点观测试验,对不同集流面如水泥土、油毡、混凝土、塑膜等多

收稿日期: 2001-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(49871040); 陕西省科技攻关项目(98K03-G4)项目资助。
作者简介: 徐秋宁,女,(1964-),西北农林科技大学在职研究生,高级工程师,现从事农业水土工程研究工作。

种材料和不同土质、地面坡度下的集流面集流效率进行了试验研究^[4~6],取得了许多成果,但由于试验范围的限制,所取得的成果存在着代表性不够强,难以适用于大范围不同地区的集雨工程可集雨量的计算。特别是缺乏对小流域、沟道、坡地等小型集水区的可集水量进行系统研究,而其它降雨径流计算方法如径流系数法、等时线法或时间—面积图法、单位过程线法等水文学方法又存在着不适于小流域、沟道、坡地等小型集水区径流量计算的缺陷。美国水土保持局提出的降雨 SCS 方法 (Curve number method), 具有所需资料简单易取,能反映不同土壤和地表覆盖条件对产流影响的特点,但其在我国的适用性目前尚少见研究。本文的目的正是通过对陕北渭北多个典型小流域的降雨径流规律进行研究,探讨该模型的适用性和合理参数,以期为解决小流域、坡地、坡耕地等小型集水区的可集雨量计算问题提供理论依据和科学方法。

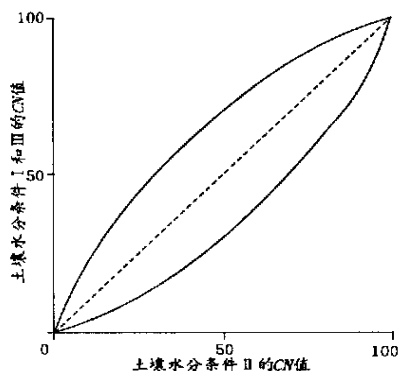


图1 前期干旱和湿润条件下, CN 值修正

2 SCS 模型的基本原理

2.1 SCS 模型的基本原理

SCS 径流模型^[9~10]能反映不同土壤类型、不同土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径流的影响,它具有简单易行,所需参数较少,对观测数据的要求不很严格的特点,是一种较好的小型集水区径流计算方法。它是基于集水区的实际入渗量(F)与实际径流量(Q)之比等于集水区该场降雨前的最大可能入渗量(或潜在入渗量 S)与最大可能径流量(或潜在径流量 Q_m)之比的假定基础上建立的,即:

$$\frac{F}{Q} = \frac{S}{Q_m} \quad (1)$$

式中: 假定潜在径流量(Q_m)为降雨量(P)与由径流产生前植物截流、初渗和填洼蓄水构成集水区初损 I_a 的差值,即:

$$Q_m = P - I_a \quad (2)$$

实际入渗量为降雨量减去初损和径流量,即:

$$F = P - I_a - Q \quad (3)$$

将式(2)、(3)代入式(1)则有:

$$\frac{P - I_a - Q}{Q} = \frac{S}{P - I_a} \quad (4)$$

推导式(4)可有:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{S + P - I_a} \quad (5)$$

为简化计算,假定集水区该场降雨的初损 I_a 为该场降雨前潜在入渗量的0.2倍^[11],即:

$$I_a = 0.2S \quad (6)$$

则式(5)可写为:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (7)$$

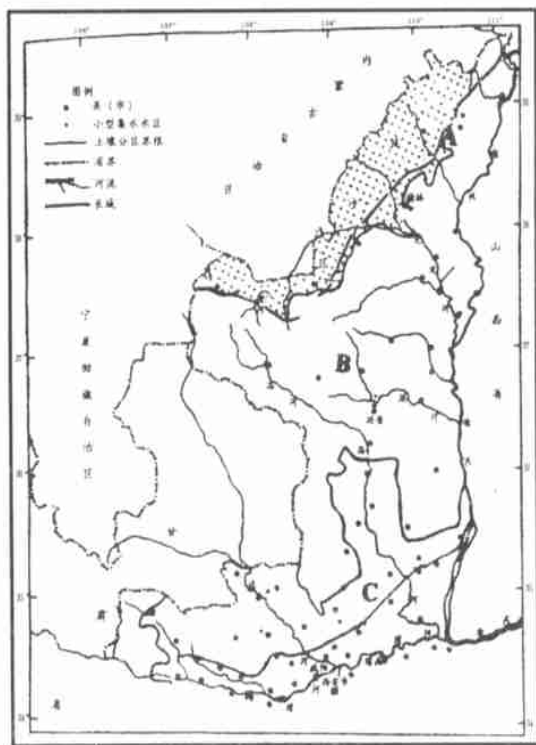


图2 陕北、渭北地区土壤分区图

由此可以看出: 集水区的径流量取决于降雨量与该场降雨前集水区的潜在入渗量,而潜在入渗量又与集水区的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿润状况有关,SCS 模型通过一个经验性的综合反映上述因素的参数 CN 来推求 S 值。即:

$$CN = \frac{1000}{S + 10} \quad (8)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (9)$$

由式(8)(9)可见: CN 值越大, S 值越小, 越易产生径流; 反之, 则相反。

表 1 中等湿润状态下的不同土壤类型和土地利用方式下的 *CN* 值(引自文献[1])

土地利用方式	土壤类型			
	A	B	C	D
荒地	76	86	94	94
块茎作物	70	80	90	90
葡萄园	64	73	82	82
谷类, 饲料作物	64	76	88	88
天然草地(繁茂)	49	69	84	84
(稀疏)	68	79	89	89
永久性人土草地	30	58	78	78
林地(稀疏)	45	66	83	83
(一般)	36	60	79	79
(茂盛)	25	55	77	77
不透水面(如水泥面)	100	100	100	100

表 2 SCS 前期降水指数中 3 种不同前期土壤水分条件类型

土壤水分条件	前 5 天降水深度/mm	
	植被生长期	其它时间
I	< 30	< 15
II	30~ 50	15~ 30
III	> 50	> 30

2.2 *CN* 值的影响因素及确定方法

2.2.1 土壤类型 在理论讲, *CN* 取值介于 0~ 100 之间, 但在实际条件下, *CN* 值在 30~ 100 之间变化。根据土壤特性不同, 可将土壤划分为 A、B、C、D 四大类型, 并由此确定其 *CN* 值, 其主要特征为, A 类: 为渗透性很强, 潜在径流量很低的一类土壤, 主要是一些具有良好透水性能的沙土或砾石土, 土壤在水分完全饱和的情况下仍然具有很高入渗速率和

导水率。B 类: 为渗透性较强的土壤, 主要是一些砂壤土, 或者在土壤剖面的一定深度具有一层弱不透水层, 当土壤在水分完全饱和的情况下仍然具有较高的入渗速率。C 类: 为中等透水性土壤, 主要为壤土, 或者虽为沙性土但在土壤剖面的一定部位存在一层不透水层, 土壤在水分完全饱和的情况下保持中等入渗速率。D 类: 为弱透水性土壤, 主要为黏土等。表 1 为降雨前集水区土壤在中等湿润状态下的不同土壤类型和土地利用方式下的 *CN* 值^[1]。

2.2.2 土壤水分情况 SCS 考虑前期降水对径流的影响, 引入了前期降水指数 *API*, 其计算公式为:

$$API = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 P_i$$

(10)

式中: P_i ——最近 5 天来的降水量(mm)。根据前期降水指数 *API*, 将土壤前期降水水分条件划分为 I (干燥)、II (中等)、III (湿润) 3 种类型见表 2。前期干旱和湿润条件下的 *CN* 值可按图 1 对表 1 的数值修正。

3 陕北、渭北典型小型集水区降雨-径流分析

3.1 所选集水区概况

本文选取陕北、渭北 8 个典型小型集水区进行分析。其基本情况见表 3

表 3 各典型小型集水区的基本情况

区域	所处县市	流域	面积/km ²	年份	土地利用情况					土质	
					耕地	林地	牧地	荒地	其它		
陕北风沙滩地区	神木	孟家沟	2 54	1959	33 0	18 2	30 1	18 7		沙土	
				1961	33 3	18 2	30 1	18 7			
陕北丘陵沟壑区	榆林	跳沟	0 861	1959	42	2 3	9 2	46 5		砂壤土	
				1960	43 23	2 07	0	35 36	19 34		
	延安	大砭沟	4 02	1959	33 8	13 3	38 9		14	轻壤土	
				1964	53 4	9 0	24 4		13 2		
		1966		53 4	16	17 4		13 2			
		小砭沟		4 05	1961	29 6	0 2	60 6			9 6
					1963	55 7	0	34 2			10 1
					1964	52 4	0	38 3			10
渭北黄土高原区	彬县		二道沟		0 41	1958	45 3	12	25 7		17
		1960		63 2		2 2	8	9 4	17 2		
	耀县	官庄沟	3 39	1959		60 6	1 4	2 2	11 6	24 2	
				澄城		碑楼沟	0 334	1958	80 2		19 8

3.2 计算结果与分析

从地貌特征看, 陕北、渭北地区大致分为风沙滩地区、丘陵沟壑区、高原沟壑区(包括陕北残塬区和渭北黄土台塬区)三区, 其土壤特性存在着明显的地带性, 其总体趋势是由北向南, 土壤颗粒由粗变细, 土壤的渗透性逐渐减弱^[3]。风沙滩地区土壤为沙土, 渗透性很强, 模型中的 *CN* 参数可选 A 类; 从榆林

向南到延安的丘陵沟壑区主要为砂壤土和轻壤土, 渗透性较强, *CN* 参数可选 B 类; 陕北残塬区和渭北黄土台塬区主要为中壤土, 渗透性中等, *CN* 参数可选 C 类, 见图 2。在此基础上, 考虑各小型集水区当年的土地利用情况, 采用面积加权法确定各典型集水区的 *CN* 值, 其中耕地采用谷物、饲料作物, 牧地采用草地的 *CN* 值, 并根据前期降雨对 *CN* 值进行

表 4 典型小型集水区径流量计算值与实测值

分区	所处县市	集水区降雨时间(年.月)	面积/km ²	修正后CN 值	降雨/mm	计算水量/m ³	实测水量/m ³	土壤类型
陕北 风沙 滩地区	神木	孟家沟 1959 7. 20	2. 54	58. 5	148. 1	64052. 69	59220	砂土(A)
		孟家沟 1959 8. 3	2. 54	58. 5	69. 5	13312. 02	15180	
		孟家沟 1960 8. 10	2. 54	57. 5	50. 1	4381. 291	5380	
		孟家沟 1960 8. 3	2. 54	57. 5	58. 5	5343. 03	5721	
		孟家沟 1960 8. 13	2. 54	57. 5	58. 5	5343	5721	
		孟家沟 1961. 8. 5	2. 54	82	33. 3	15994. 43	17320	
		孟家沟 1961. 9. 27	2. 54	57. 5	58. 8	5489. 24	5721	
陕北丘 陵沟 壑区	延安	孟家沟 1960. 9. 24	2. 54	57. 5	87. 2	4773	4168	砂壤土 轻壤土(B)
		跳沟 1959 7. 21	0. 861	78. 75	38. 2	5554. 66	7565	
		跳沟 1961. 7. 12	0. 861	78. 75	30. 7	2906. 49	2395	
		跳沟 1961. 8. 21	0. 861	57	65. 5	2145. 48	1707	
		跳沟 1961. 7. 30	0. 861	78. 75	33. 8	3921	5596	
		跳沟 1961. 8. 13	0. 861	57	49. 2	453. 23	529. 8	
		跳沟 1961. 8. 2	0. 861	57	51. 1	687. 72	803. 4	
		跳沟 1959. 8. 5	0. 861	86	37. 1	10197. 46	9613	
		大砭沟 1959. 8. 28	4. 02	82. 5	43. 3	49216. 58	48610	
		大砭沟 1959. 7. 20	4. 02	57	44. 6	800. 44	783. 9	
		大砭沟 1959. 8. 24	4. 02	76. 5	39	21693. 83	17380	
		大砭沟 1964. 7. 12	4. 02	76. 75	34. 8	15719. 83	13020	
		大砭沟 1964. 7. 4	4. 02	57	29. 1	1874. 77	2035	
		大砭沟 1964. 8. 9	4. 02	57	56. 2	6132. 80	8745	
		大砭沟 1967. 8. 3	4. 02	57	65. 3	13384. 03	12020	
		大砭沟 1967. 8. 29	4. 02	76. 75	32. 4	12381. 31	18350	
		小砭沟 1961. 7. 12	4. 05	56	50. 9	2321. 36	2629	
		小砭沟 1961. 8. 13	4. 05	56	70. 7	16662. 95	7832	
		小砭沟 1961. 8. 1	4. 05	76. 5	42. 7	28283. 74	28760	
		小砭沟 1963. 8. 29	4. 05	76. 5	32. 1	11657. 88	11010	
渭北黄 土高原区	彬县	小砭沟 1964. 7. 4	4. 05	56	27. 8	3170	2963	中壤土(C)
		小砭沟 1964. 7. 12	4. 05	76. 5	37. 4	19272. 5	19210	
		小砭沟 1964. 7. 30	4. 05	90	31. 1	48890. 63	48780	
		小砭沟 1964. 9. 13	4. 05	90	31. 7	50656. 32	57770	
		二道沟 1960. 8. 3	0. 41	83. 25	62. 3	10776. 95	11360	
		二道沟 1959. 8. 21	0. 41	82	24. 4	1042	1375	
		二道沟 1960. 8. 31	0. 41	83. 25	38. 4	4106. 278	3990	
		丰裕沟 1958. 7. 23	1. 176	84. 25	26. 2	5111. 676	7204	
		丰裕沟 1958. 7. 31	1. 176	69	42. 9	3532	4186	
		丰裕沟 1958. 9. 5	1. 176	84. 25	25. 4	4522. 44	2334	
		丰裕沟 1960. 4. 25	1. 176	69	43. 3	2663. 62	1983	
		丰裕沟 1960. 8. 3	1. 176	69	39. 1	2389	2932	
		丰裕沟 1960. 8. 26	1. 176	84. 25	36. 6	1745. 26	1621	
		丰裕沟 1960. 8. 31	1. 176	84. 25	33. 9	11152. 54	1003	
	耀县	官庄沟 1959. 8. 25	3. 39	84. 25	25. 4	10203. 01	7894	
		官庄沟 1959. 8. 24	3. 39	84. 25	24. 4	5380	5212	
		官庄沟 1959. 8. 28	3. 39	84. 25	22. 7	7017. 154	7812	
	澄城	碑楼沟 1959. 8. 29	0. 334	76	29. 7	663. 74	903	
		碑楼沟 1958. 8. 18	0. 334	70	33. 3	368. 74	330	
		碑楼沟 1959. 6. 8	0. 334	76	47	2879. 43	2007	
		碑楼沟 1961. 6. 26	0. 334	76	50. 9	3526. 90	2331	
		碑楼沟 1961. 9. 2	0. 334	76	25. 7	346. 66	645. 1	

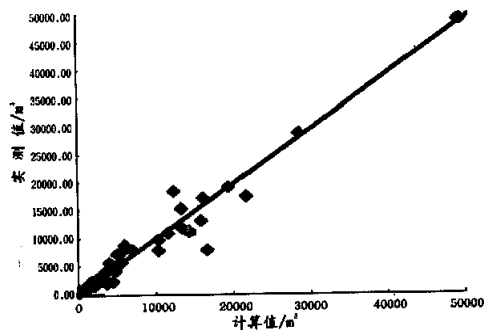


图 3 计算与实测对比图

修正, 通过多个典型小型集水区多场降雨利用 SCS 模型进行径流量的计算, 见表 4、图 3。可以看出: 计算值与实测值比较接近, 结果是比较满意的, 其 CN 参数也与陕北、渭北不同分区土壤特性基本一致, 说明该模型具有合理性和较大范围的适用性。

4 结 论

通过上面的研究可以得出以下结论:

- (1) SCS 模型把影响径流的主要因素土壤类别
- (下转第 150 页)

针对我国水资源短缺, 利用率低, 浪费和水污染严重等突出问题, 以科技为先导, 加强水资源科学的规划和管理, 实施科技行动, 提高水资源利用率和完善水资源法规体系和经济机制, 按计划 按比例分配水资源及生态、生活、建设用水, 使水资源在供水、发电、灌溉、渔业、运输、娱乐及维持生态等方面的综合效益最大化, 走高效省水、高效用水的路子。第一步, 研究开发先进适用、符合国情的高效用水技术与设备。第二步, 研究制定科学可行的调配水方案, 实现地区间水资源的科学配置。根据不同的水土资源条件, 研究制定生产用水、生活用水和生态用水的科学方案; 开发高效输配水系统及调控技术, 研究制定主要河流水资源分配方案。第三步, 加速开发一批节水

技术与设备, 加速推广新型节水技术, 改变落后的用水方式。第四步, 对现有工矿企业的工艺技术进行改造和更新, 在压缩污水排放, 并兴建污水处理厂、氧化塘等处理污水, 提高污水回用率。同时, 要调整产业结构, 对污染严重的企业该停则停, 该并则并。第五步, 在农业用水中, 积极开发节水灌溉技术和设备, 合理分配水资源, 大力发展旱作农业, 推广滴灌、高效用水技术和研发降低蒸发量的高产的农作物新品种。

4.5 加强全民节水意识的宣传教育工作

强调用水责任, 把保护水源, 节约用水作为道德准绳, 广泛宣传教育, 提高全民节水意识。

参考文献:

- [1] 陈家琦, 陈表恺. 中国水资源及其开发利用和管理[A]. 水利水电科学研究论文集[C]第14集(水资源).
- [2] 黄秉维, 郑度, 赵名茶, 等. 现代自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 2: 258, 261.
- [3] 陈刚起. 三江平原沼泽开垦前后下垫面及水平衡变化研究[J]. 地理科学, 1997, 7(增刊), 427- 423
- [4] 邓伟, 宋新山, 翟金良. 洪泛湿地保护与水资源可持续利用[J]. 科技导报, 2000, 141(3): 54- 58
- [5] 陈刚惟, 张文芬. 三江平原沼泽对河川经流影响的初步探讨[A]. 见董锡畴: 中国沼泽研究[M], 北京: 科学出版社, 1988, 114- 117.
- [6] 张启舜, 陈志恺, 张司明. 水问题与社会发展[J]. 科技导报, 1992年10月第19期, 53- 54
- [7] 吴以鳌. 中国水资源利用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989 60- 14
- [8] 石 虹. 改善生态环境是山西实现可持续发展的关键[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 150- 152

(上接第142页)

土地利用方式对径流的影响定量化, 可以用于小流域、沟道等小型集水区的集水量计算。

(2) 陕北、渭北地区土壤具有明显的地带性特征, 其土壤类别自北向南分别为风沙滩地区、丘陵沟壑区、高原沟壑区, 模型中的 CN 参数应分别在 A、

B、C 类土壤中选用, 这与陕北、渭北土壤分区特征基本一致, 说明该模型具有合理性和较大范围的适用性。

(3) SCS 模型没有考虑降雨历时对土壤滞留量及 CN 值的影响, 这会影响模型的估算精度。另外, 前期降雨对土壤湿润状况的影响是一个很复杂的过程, 这一方面研究还有待进一步深化。

参考文献:

- [1] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学出版社, 1996
- [2] 赵松岭, 李凤民, 王静. 半干旱地区集水农业的可行性[J]. 西北植物学报, 1995; 15(8): 9- 13
- [3] 李玉山, 韩仕峰, 汪正华. 黄土高原土壤水分性质及其分区[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1989(2): 1- 16
- [4] 黄占斌, 山仑, 张岁岐, 等. 雨水利用与水土保持和农业持续发展[J]. 水土保持通报, 1997; 16(1): 54- 56
- [5] 朱兴平, 李永红. 雨水利用的理论与实践[J]. 水土保持通报, 1997(4): 32- 36
- [6] 尚新明, 常继青. 甘肃中部地区雨水集蓄利用和农村经济发展[J]. 干旱地区农业研究, 1999(2): 116-121.
- [7] 吴普特. 关于雨水利用若干问题的思考[J]. 灌溉排水, 1999(增刊): 216- 225
- [8] 马孝义, 娄宗科, 李援农, 等. 陕西省集雨节灌工程发展模式与对策. 水土保持通报, 2000; 20(5): 42- 45
- [9] William, J. R. and Lasear, W. V. Water yield model using SCS curve numbers[J]. Journal of Hydraulics Division, 1976, 102(9): 1 221- 1 253
- [10] Bosznay, M. Generalization of SCS curve numeber method[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 1989, 115(1): 139- 144