

树篱条件下的流水网及其对径流过程影响研究

罗 健 张行南 王 文

(河海大学水文水资源及环境学院 江苏南京 210098)

摘要 树篱是一种特殊的地貌特征.成排根部壅土的树,像挡水坝一样改变了地面径流过程.本文在无树篱流水网推导方法的基础上,提出了树篱条件下流水网的推导方法.然后用统计和对比分析的方法,研究树篱对径流过程的影响.对四个流域上的研究表明,树篱对各网格到河网或流域出口的平均距离改变不大,影响最大的是有树篱的网格单元的集水面积,及其沿径流流向上的坡度的变化.沿树篱方向高程起伏会形成许多洼点,这些洼点拦蓄地面径流是对径流过程产生影响的另一个主要方面.

关键词 数字高程模型 流域流水网 树篱 径流过程

中图分类号 :TV21 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2000)03-0020-06

树篱是一种特殊的地貌现象.成排根部堆积着许多土的树,好象在坡面上形成了一道道挡水坝,改变了地面径流流向,径流路径的长短和坡度将随之而改变,径流的汇流速度,及其与壤中流和地下径流的交换也将随之而改变.本文在无树篱条件下流水网推导方法的基础上^[1],利用高程阈值法(METM)导出了有树篱存在时的流水网.由于树篱使径流向一个方向运动,故采用单方向模型. Merot 和 Bruneau^[2]曾利用 Kirkby 指数研究了地表径流对树篱的敏感性.本文利用法国西部布列塔尼地区资料,采用两种流水网的对比分析,从地面径流路径的长度、坡度和集水面积等地貌特征方面,研究了树篱对径流过程的影响.

1 树篱条件下的流域流水网推导

在无树篱条件下的流水网的基础上,分下述几步修正有树篱存在的网格的网格方向,是本文的基本指导思想.

1.1 消除树篱图像上的锯齿状图形

本文所用的树篱资料是航空照片的影像图.影像采用的是栅格数据格式.设有如图 1(a)中由实线所示的一条树篱,有阴影的网格表示有树篱经过,直接反演的树篱如图 1(b)所示的锯齿状,它不但改变了树篱的线性特征,而且使得沿树篱的高程呈较大的起伏.为此需要去除锯齿形的“角”.本文采用相邻网格各种不同的组合情况的判别,来去除“角”,得到如图 1(c)所示的、宽度为一个网格的线状影像图.由此导出的树篱保证了树篱的线性特征.

1.2 排水网中树篱网格方向的修正

设有一树篱的高程如图 2 所示,共有 8 个高程转折点, b 点最高, e 点最低.本文采用一个高程差的阈值 TH 来确定径流运动方向.当两个转折点的高程差小于 TH 时,则径流将翻越高程转折点.图中设 c 与 d 之间的高程差小于 TH ,其余转折点间的高程差都大于 TH ,则径流沿树篱的流动方向如图中的箭头所示,在 cd 段由低(c 点)向高(d 点)运动.设置阈值 TH ,主要是考虑一些微小的地形起伏和由图像上提取树篱时数据处理上的误差,这些点上并不能形成有效拦蓄地面径流的坑.阈值 TH 是一个经验参数,与研究区域的气候和水文特征有关.地面径流量大的流域,则 TH 也大.根据实际地区的应用经验,认为在这一地区取 0.5 m 较为合适.

图 2 中的 e 点和 g 点,是因树篱而产生的坑,本文称之为树篱坑.地面径流汇入树篱坑后,一部分逐渐渗

收稿日期 :1999-01-04
基金项目 国家教委 1997 年资助优秀青年教师基金项目(国家教育部教人司(1998)9 号文).
作者简介 罗健(1963 —)男,江苏南京人,讲师,遥感与地图学专业,主要从事遥感和地理信息系统研究.

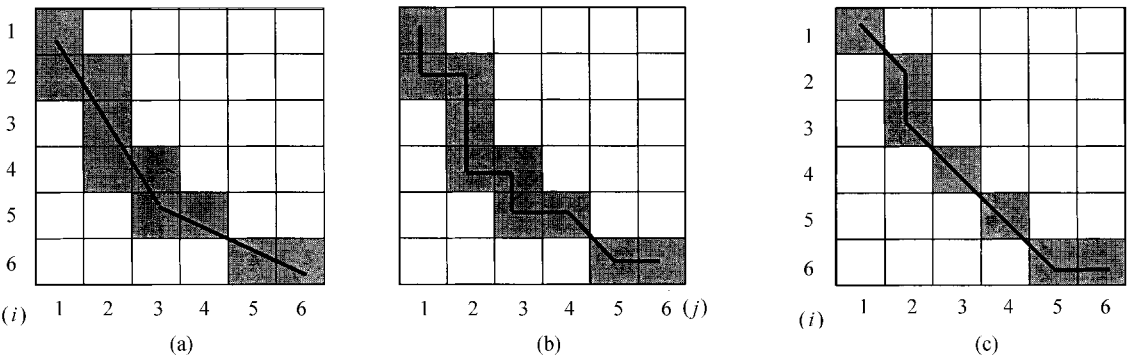
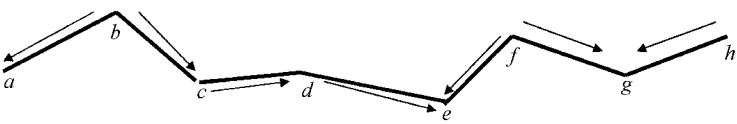


图 1 树篱网格图像示意图
Fig. 1 A sketch of hedgerow image



注 箭头为树篱网格方向,8 个字母表示高程的 8 个转折点
图 2 高程沿树篱分布示意图

Fig.2 A sketch of pixel elevations along a hedgerow

入土壤,一部分可能穿过隔水性并不是很高的树篱后,继续以地面径流的形式运动,另一部分因蒸发而返回大气层.树篱坑内的径流过程,需建立专门的径流模型,作进一步研究.

1.3 树篱两侧方向不同情况下的处理

设有图 3 所示的树篱, $P(4,5)$ 是个转折点.按上述方法,树篱上方的径流沿树篱汇聚到 $P(4,5)$ 后将沿下半部分树篱向左下方流动,这显然不正确.故本文沿树篱逐个网格判别,当一个树篱网格的左(右)侧网格方向指向树篱,下一个网格是右(左)侧的网格方向指向树篱时,则该网格为图中所示的转折点,将网格方向作如图 3(b)所示的修正,这相当于在 $P(4,5)$ 将树篱分成两段.地面径流沿树篱汇聚到 $P(4,5)$ 后向下运动.

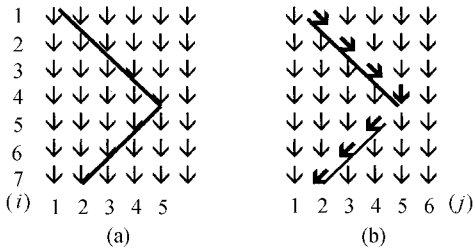
1.4 交叉网格方向的修正

设有图 4(a)所示的斜向树篱,当树篱网格方向修改后,将形成如图所示的交叉网格方向.因此,需将树篱上方的网格方向修正成如图 4(b)中粗黑箭头所示的方向.

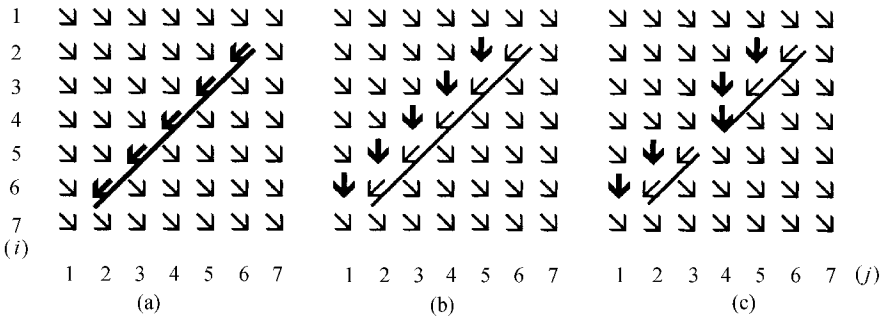
引起这一问题的原因是网格分辨率.当某些细小的支流两侧都有树篱时,由于网格数据的分辨率问题,有可能将支流两侧原来分开的树篱,连接成跨细小支流的、连续的树篱.在此情况下,按上述方法修正网格方向后,将使这些支流改道,有时还会形成循环网格方向,即一组网格方向首尾相连形成一个环.

由流水网可求出每个网格的集水面积.确定一个集水面积的阈值,将所有集水面积大于阈值的网格连接起来,可求得相对应的河网.阈值越小,则河网越长,反映的支流越详细.河网长度与地形、水文和气象等因素有关.该地区集水面积约大于 8 km^2 时,将形成明显的小支流.如交叉网格出现在支流网格上,修正时支流网格始终保持不变.例如,设图 4(c)中 $P(4,3)$ 和 $P(5,4)$ 为支流网格,则网格方向将作如图中粗黑箭头所示的修正.这相当于将图像上连续的树篱,按实际情况分割成两段.

经修正后,即为本文提出的,有树篱条件下的完整的流水网推导方法(METM).图 5 为流域 D 上,在 1948 年的树篱条件下,由 METM 法导出的流水网的一部分.由此推导出的流水网,可用于分析树篱对流域坡面径流过程的影响.



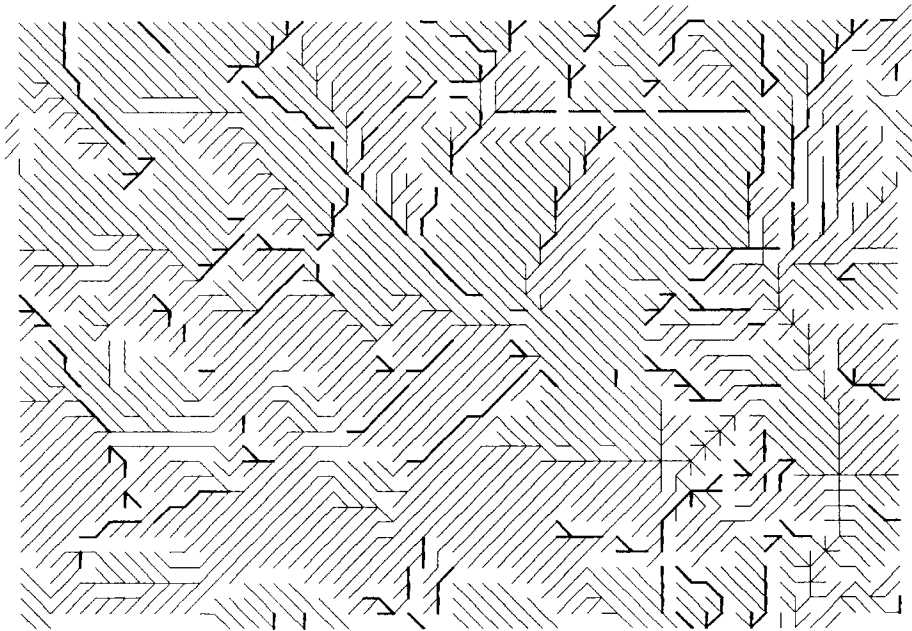
注:实线表示树篱
图 3 具有转折点的树篱示意图
Fig.3 An example of hedgerow with turning point



注 实线为树篱

图4 METM法中去除交叉网方向的示意图

Fig.4 A sketch for METM to eliminate the cross pattern of $D(i, j)$



注 :黑线表示由 METM 法确定的树篱网格方向和修正的交叉网格方向

图5 METM法导出的流水网(1948年)

Fig.5 A part of drainage network of catchment D derived by METM

2 树篱对径流过程的影响

本文提出的流水网推导方法,已试用于布列塔尼地区的4个流域.该地区位于法国的西部,是海洋性气候,属丘陵地带,流域坡度较缓. Brun 等曾对该地区的气候、水文及自然地理特征作过较详细的阐述^[3]. 流域 D 有两种 DEM, 网格大小为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 和 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, 对应的网格高程值精度分别为 cm 和 m . 流域 D 上有 1948 年和 1992 年两年的树篱资料, 树篱的密度变化很明显. 本文在上述四个流域上, 分别导出了有和没有树篱两种流水网, 对网格的距离、坡度和集水面积进行对比分析. 所谓网格距离, 是指按网格方向, 从一个网格中心到其下一个网格中心间的距离, 水平或垂直网格方向的网格距离为一个网格宽度, 斜方向时是一个网格宽度的 1.414 倍. 网格到河流或流域出口断面的距离为沿流水网网格方向上的所有网格距离之和. 沿网格方向, 两个相邻网格的高程差除以距离即为网格坡度. 按流水网, 一个区域上产生的径流, 都将流经某一个网格, 则该区域称为这个网格的集水面积. 本文在上述四个流域上的分析研究是在网格尺度为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的 DEM 上进行的. 在流域 D 上分析了 1948 和 1992 两年的树篱网. 分析所得的一些统计特征见表 1.

表 1 考虑和不考虑树篱条件下的地貌特征统计

流域名	Hedge	MDO	MDR	SHP	DRCH		SI	SDA	MDRS
					EN	RE			
A	No	1 991	324	2.8					324
	H94	2 002	334	2.2	1 899	2 778	37	1 678	293
B	No	3 211	387	3.9					387
	H94	3 226	416	2.7	2 836	5 796	40	1 441	388
C	No	2 798	385	2.7					385
	H94	2 816	395	1.9	1 629	3 098	32	3 833	346
D	No	4 184	405	4.2(1948) 3.9(1992)					405
	H48	4 208	425	2.9	4 909	8 118	107	9 914	348
	H92	4 197	414	2.7	3 157	5 129	57	4 397	375
	H94								

注 :Hedge——No 表示不考虑树篱 ,H48、H92 和 H94 分别表示考虑 1948 年、1992 和 1994 年的树篱 ;MDO——从各网格到流域出口断面的平均距离 ,m ;MDR——从各网格到河网的平均距离 ,m ;SHP——树篱网格的平均坡度(%) ;流域 D 在 1948 和 1992 两年的树篱网不同 ,所以不考虑树篱的情况下也有两个值 ;DRCH——网格集水面积因树篱而有变化的网格数 ,EN 表示集水面积变大的网格数 ;RE 表示变小的网格数 ;SI——树篱坑的个数 ;SDA——树篱坑所对应的集水面积(网格数) ;MDRS——各网格到河网或树篱坑的平均距离 ,m。

随着 METM 中高程差阈值 TH 的变化 ,树篱坑的个数也随之变化 ,当阈值大于 2.0 m 时 4 个流域上都没有树篱坑了 ,也就是说 ,整个流域上的流水网是一个连续的网 ,不存在断点。表 1 中的 MDO、MDR、SHP 和 DRCH 即为这种状态下的统计值。当阈值为 0.5 m 时 ,各流域的树篱个数列于表 1 中的 SI 项 ,相对应的集水面积和各网格到河网或树篱坑的距离列于表 1 中的 SDA 和 MDRS 项。由表 1 可看出 ,树篱的影响随着密度的增加而增加。由 MDO 和 MDR 项可看出 ,各网格到河网和流域出口断面的平均距离 ,增加得并不是非常明显 ,这是因为有些网格的距离因树篱变长了 ,有些变短了。

如上所述 ,选择不同的集水面积阈值 ,将得到详细程度不同的河网。阈值越小 ,河网越长。Aurousseau 和 Squidant 认为 ,集水面积阈值选择 25 hm² ,用流水网导出的河网 ,基本上接近于通常意义上的河网。

树篱改变了流域上的网格方向及各网格的集水面积 ,因而也改变了坡面上细小的支流。图 6 给出了由于树篱而引起的河网长度的变化情况。当阈值小于 200 个网格时 ,河网长度因树篱而明显的增加了许多。这是因为沿树篱汇集了更多的地表径流 ,也就是说树篱提高了径流的汇集程度。类似地 ,当阈值小于 200 个网格时 ,树篱引起的各网格到河网的距离的增长的量 ,变化也非常大。图 6 中的两条曲线 ,说明了树篱主要影响坡面上的径流过程。

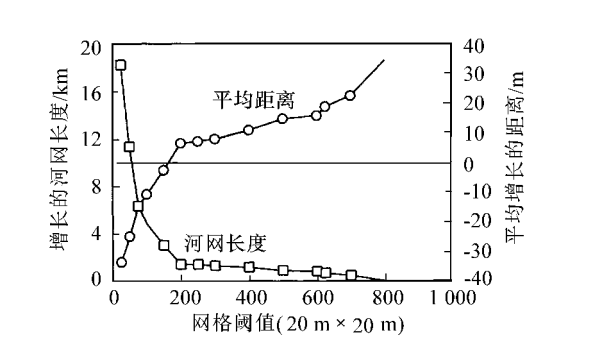


图 6 集水面积阈值和河网长度、河网平均距离变化关系
Fig. 6 The relationship of changes of threshold , length and mean distance of network

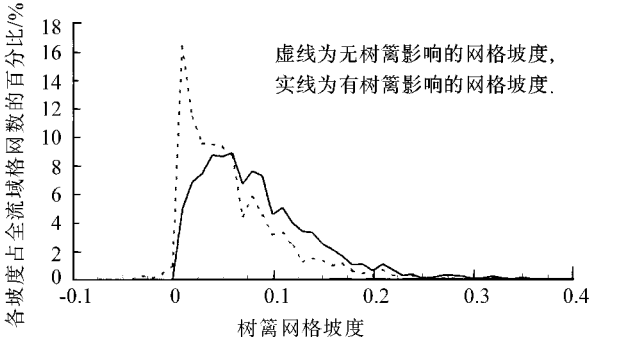
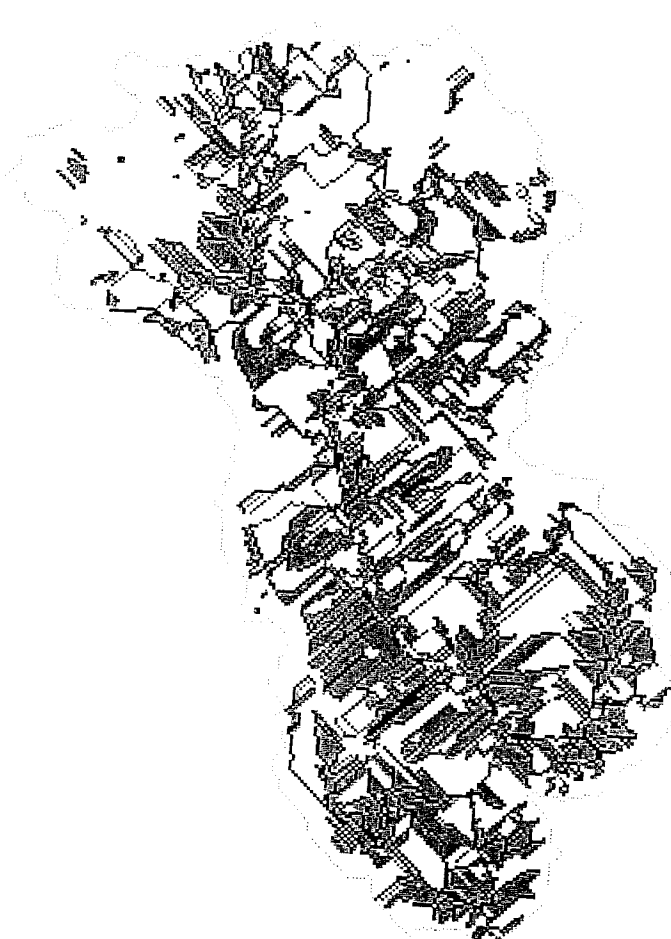


图 7 1992 年树篱网格坡度的分布曲线
Fig. 7 The distribution of the slopes of hedgerow pixels for 1992 in catchment D

从表 1 中的 SHP 栏可看出 ,树篱网格的网格坡度减缓非常明显。图 7 给出了树篱网格坡度的分布曲线 ,可看出树篱网格坡度明显减缓了。由表 1 中的 DRCH 栏可看出 ,有的网格的集水面积增大了 ,有的减小了。但从图 7 可看出 ,集水面积增大的网格主要是树篱网格。所以 ,沿树篱汇集了更多的地表径流 ,而且坡度减缓 ,汇流速度减慢 ,从而增大了地表径流的下渗的可能性。本文认为这是树篱对径流过程影响较大的方面之一。

树篱坑对径流过程的影响是很大的 ,其对应的集水区域上产生的地表径流将被拦蓄在坑里 ,这部分地面



注 深色网格(4909 个)表示其集水面积是增加的,浅色网格(8118 个)表示其集水面积是减少的,空白表示无变化。

图 8 1948 年树篱作用下各网格的集水面积的变化

Fig. 8 The changes of the drainage areas of pixels because of the hedgerow for 1948 in catchment D

径流有可能下渗,有可能因蒸发而返回大气层,也有可能穿过隔水性并不是很好的树篱,继续以地表径流的形式向下运动.阈值取 0.5 m 时,树篱坑的集水面积在 4 个流域上约占总面积的 10% ~ 20%,流域 D 在 1948 年占到了约 30%,这是一个不小的比例.所以,树篱坑是另一个对径流过程影响较大的方面.

3 结 语

树篱网是一个在水文学方面比较复杂的地貌特征.经 4 个流域的试用证明,本文基于树篱高程差阈值而提出的 METM 法,较好地解决了具有树篱网这一特殊地貌特征下的流域流水网的推求,导出的流水网比较合理.树篱高程差阈值对于推导合理的流水网起到关键的作用.在本实验地区,取 0.5 m 比较合适.对于不同的地区,应作专门的分析研究,选取合适的值.

树篱网对坡面上径流过程有较大的影响.在地面径流的汇流距离方面,影响不是很大,因为有些网格的距离增长了,有些则缩短了.影响较大的是在树篱网格上,不但汇集了更多的地面径流,而且使网格坡度减小,大大减慢了坡面上的汇流速度,增大了地面径流的下渗的可能性.树篱坑是另一个对地面径流过程影响比较重要的方面,在该地区,其对应的集水面积一般占总面积的 10% ~ 20%,这些面积上产生的地面径流都将被拦蓄在树篱坑内,最后被蒸发、下渗或渗过树篱继续以地面径流的形式运动,这部分径流过程被完全改变了.关于树篱对径流过程的影响,还需建立专门的水文模型,作进一步的研究.

参考文献：

[1] 张行南 , 齐晶 , 张丽 . 流域排水网推导方法 [J]. 河海大学学报 , 2000 , 28 (1) : 26 ~ 31 .
[2] Merot Ph , Bruneau P . Sensitivity of bocage landscapes to surface run-off : application of the Kirkby index [J]. Hydrol Process , 1993 , 7 : 167 ~ 176 .
[3] Brun C , Bernard R , Vidal-Madjar D , et al . Mapping saturated areas with an helicopter-borne C-band scatterometer [J]. Water Resour Res , 1990 , 26 : 945 ~ 955 .

Derivation of Drainage Network in a Catchment with Hedgerow
and Effect of Hedgerow on Runoff Process

LUO Jian , ZHANG Xing-nan , WANG Wen

(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The hedgerow is a special geomorphologic landscape in Brittany , north-west of France . In this region , the trees are usually planted in rows , and soil is heaped up on the roots of the trees . The mixtures of the soil and the roots are something like dikes , called hedgerow . The runoff process on hillside is affected by hedgerow network . In this paper , the method of deriving the drainage network in the presence of the hedgerow network is developed on the basis of the derivation in the absence of the hedgerow network . Comparison of the features of the drainage networks in the presence and absence of the hedgerow network is employed to study the effect of hedgerow on runoff process . The case studies for four catchments indicate that the mean distance from pixels to the catchment outlet or river network is prolonged , while the more important effect is that the slopes of hedgerow pixels are reduced significantly and there is much more runoff to be accumulated in the hedgerow pixel . On the other hand , there are some hedgerow sinks owing to elevation undulation along the hedgerow . Hedgerow sinks play a very important part in dominating runoff process because they retain much surface runoff .

Key words :digital elevation model ;catchment drainage network ;hedgerow ;runoff process