

# 地表径流与土壤渗透拟合方程

杨 艳 生

(中国科学院南京土壤研究所)

## 提 要

为了处理在野外测试中得到的地表径流和土壤渗透资料,采用了曲线拟合方法。通过处理,建立了降雨时间与地表径流系数、渗透时间与土壤渗透量、渗透时间与渗透速度关系方程,在比较两组方程中,选取了具有较佳拟合效果的一组方程作为在实际应用中的数学模型。

在侵蚀土壤研究中,发现地表径流和土壤渗透对侵蚀速度和侵蚀方式有重要影响,因而进行这些项目的测试,取得一定的资料,研究不同土壤的地表径流及土壤渗透特点。为此,必须将测试资料加以整理,才能了解不同土壤的地表径流和渗透规律,进行土壤间地表径流和渗透特性对比,提出土壤改良和保土措施。本文将讨论根据测试资料,采用曲线拟合方法,建立渗透时间与径流系数、渗透量和渗透速度关系方程的方法,以便能选取具有最佳拟合效果的曲线方程形式。

## 一、各关系曲线的基本模型

现以花岗岩母质发育的红壤为例,测区地面坡度 $15^\circ$ ,地表无植被,采用雨强为 $0.75$ 毫米/分的人工降雨法,测得的数据列于表1。关系曲线基本模型,是要根据实测结果的点划曲线形状和地表径流、土壤渗透的实际情况而定。

**1.时间与地表径流系数的关系。**从实测情况可知,降雨之初并不立即产生地表径流,一般经过几分钟、十几分钟以后径流才出现,并且由小而大,直至1—2小时后,径流系数变化很小,达到基本稳定。若以出现径流后降雨持续时间( $t$ )为纵座标,相应的径流系数( $W$ )为横座标,各测定值在二维空间的排列位置图形如图1。

**2.时间与渗透量之间的关系。**从实测中可以看到,时间与渗透量之间的关系和时间与渗透速度间的关系基本一致。就是渗透开始时,渗速快,渗透量随渗透时间增加也快,随后渗透速度和渗透量随单位渗透时间的增量都逐步减小,到一定时间以后,渗透速度趋于一恒定值,渗透量随单位渗透时间的增量趋近于0。根据表1数据,若以渗透时间( $t$ )作x轴,分别以渗透量( $M$ )和渗透速度( $V$ )作y轴,相应量在二维空间排列位置,有如图2和图3。

表 1

不同时间的径流系数、渗透量和渗透速度

观测时间 (分)	径流系数 (%)	渗透量 (立方厘米)	渗透速度 (毫米/分)
5	8.50	1,698	0.68
15	17.69	4,723	0.61
25	23.30	7,450	0.55
35	24.01	9,954	0.50
45	28.53	12,273	0.46
55	30.79	14,427	0.43
65	33.50	16,434	0.40
75	35.42	18,307	0.38
85	36.46	20,056	0.35
95	37.43	21,685	0.33
105	38.35	23,204	0.30
115	39.33	24,620	0.28

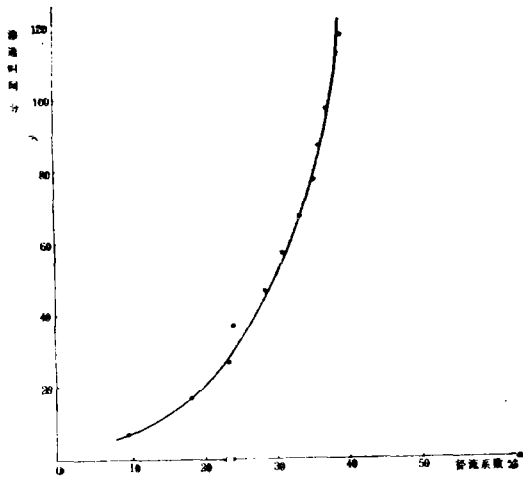


图 1 渗透时间与径流系数的关系曲线

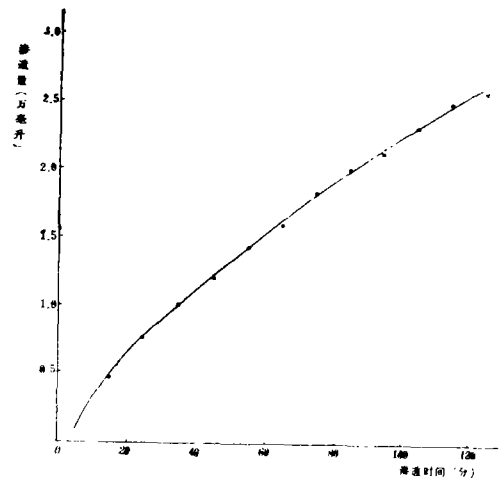


图 2 渗透时间与渗透量的关系曲线

**3. 关系曲线方程的基本模型。**为了叙述的方便, 将图 1、图 2 和图 3 中的曲线分别简称为线 1、线 2 和线 3。根据曲线的形状, 可以找到描述这些曲线的关系方程的基本模型, 现找出两组曲线形状相似的曲线及方程模型 (见图 4)。对比线 1、线 2 和线 3 可见, 它们分别与图 4 中的 4—1、4—1', 4—2、4—2' 和 4—3、4—3' 相似, 因此就可以从中选取拟合效果较好的方程模型对曲线进行描述。

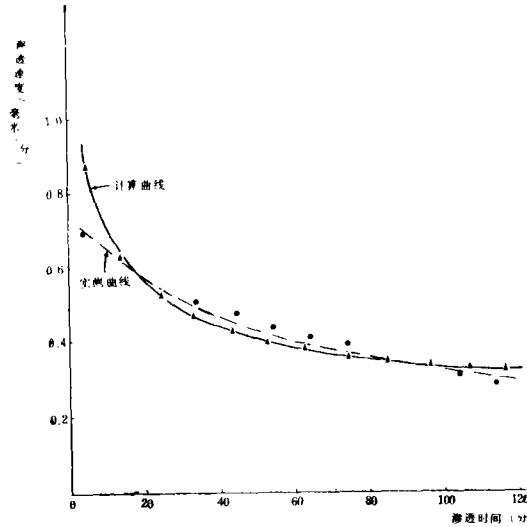


图3 渗透时间与渗透速度的关系曲线

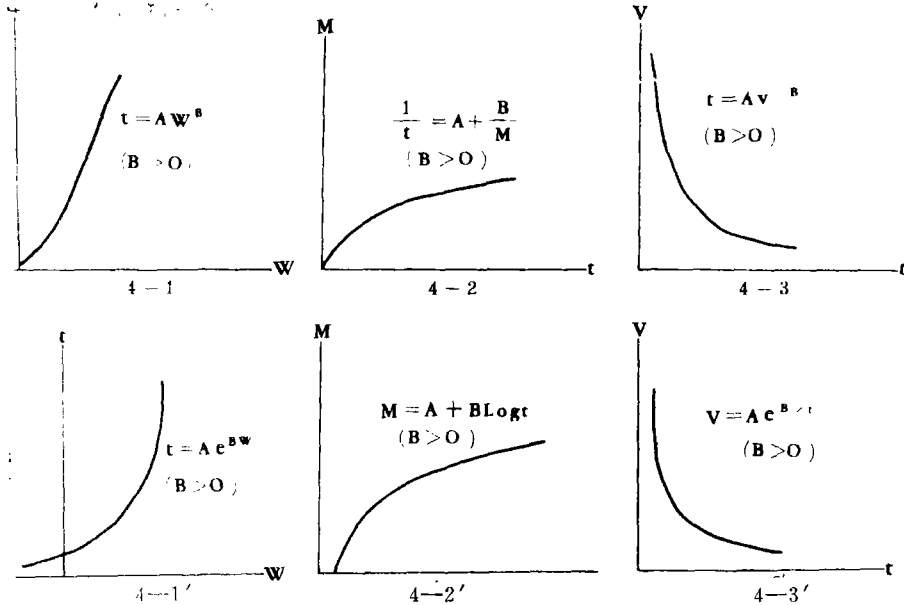


图4 不同曲线形状的相应关系方程模型

## 二、拟合曲线方程的建立

知道了实测曲线的形状和描述这一曲线的方程模型，进一步要建立这一经验方程。这里采用曲线拟合法，先根据线性方程建立的原理，再推广应用于非线性方程的建立。具体步骤如下：

**1. 线性模型的拟合公式。**假定在二维坐标空间有一根直线，它总可以用形如  $y = A + Bx$  方程来描述，这线性方程可改写为：

$$y = B_1 x_1 + B_2 x_2$$

其中  $B_1 = A$ ,  $x_1 \equiv 1$ ,  $B_2 = B$ ,  $x_2 = x$ ,  $y$ 、 $x_2$  为相应的观测数据。为要建立线性方程, 就要求出方程中的  $B_1$  和  $B_2$  常数项。

若已取得  $N$  组观测数据, 可先求出下列各量:

$$SO = \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 \qquad TO = \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i$$

$$S1 = \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} \qquad T1 = \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i$$

$$S2 = \sum_{i=1}^N x_{2i}^2$$

这样线性方程中的常数项可按下式求得:

$$A = (T1 \times S1 - TO \times S2) / (S1^2 - SO \times S2)$$

$$B = (TO \times S1 - T1 \times SO) / (S1^2 - SO \times S2)$$

**2. 非线性模型的拟合方程。** 为了求得非线性模型的拟合方程, 可用变量变换法, 将非线性方程转换成线性方程后求得。现以图 4 中曲线 4-1 的描述方程为例:

$$y = ax^b \qquad \text{两边取对数得}$$

$$\log y = \log a + b \log x$$

令  $\log y = y'$ ,  $\log a = a'$ ,  $\log x = x'$  即可得:

$$y' = a' + bx'$$

此为线性方程的形式, 同样可用线性方程的建立方法求得。

**3. 时间与地表径流系数的拟合方程。** 根据表 1 数据和前述方法, 可以得到相应于图 4 中曲线 4-1 和曲线 4-1' 形状的方程模型, 分别为:

$t = 0.048W^{2.07}$ ;  $t = 2.609e^{0.007W}$ 。根据这两个方程得到的计算值, 对比实测值都有较好的拟合效果, 从  $F$  统计量的计算可见, 拟合效果在 1% 的水准上是显著的。但按前一方程进行计算, 当时间趋于 0 时, 径流系数也趋于 0; 而按后一方程计算, 当时间趋于 0 时, 径流系数出现负值。可见选取前一方程可得到更合理的结果。

**4. 时间与土壤渗透量关系的拟合方程。** 根据测定数据, 可以得到如图 4 中曲线 4-2、4-2' 的描述方程, 这方程分别是:  $\frac{1}{t} = \frac{0.035}{M} - 0.006$ ;  $M = 1.770 \log t - 1.476$ 。

根据这两个方程得到的计算值, 对比实测值可见, 前一方程有较好的拟合效果。

**5. 时间与渗透速度关系的拟合方程。** 根据表 1 数据, 可以得到如图 4 中曲线 4-3 和 4-3' 的描述方程, 这方程分别是:  $t = 3.079V^{-3.150}$ ;  $V = 0.368e^{3.810/t}$ 。对比这两个方程的计算值与实测值可见, 前一方程的拟合效果更佳。

### 三、结果及讨论

利用实测数据,采用曲线拟合方法,可以得到时间与地表径流系数关系方程、渗透时间与渗透量关系方程、渗透时间与渗透速度的关系方程,这些方程当分别采用 $t = AW^B$ 、 $\frac{1}{t} = A + \frac{B}{M}$ 、 $t = AV^{-B}$ 模型时,可以取得良好的拟合效果。根据用F统计量对拟合效果的检验表明,对18个测点取得的所有数据得到的全部拟合方程,相应F统计量在1%水准上效果显著,测定值与计算值相近。由于拟合方程的求得,不仅使测定数据应用简便的方程式描述出各量值间的关系,利用方程式可以求得在一定条件下另一量的值,便于比较不同土壤的地表径流、渗透量和渗透速度。但是,正如其它测试一样,在有限时间内取得的数据求出的拟合方程在应用时也不能无限延伸。例如上述各方程仅在两小时内利用方程求出的量与实测值相近,超出两小时求出的量值就可能与实测值相差较远,因而在应用时应予注意。

## THE DISCUSSION ON CURVE—FITTING TECHNIQUES FOR DATA OF DIRECT RUNOFF AND WATER INFILTRATION

Yang Yunsheng

(Nanjing institute of soil science, Academia sinica)

### ABSTRACT

In order to process data of direct runoff and water infiltration through soil from field tests, curve-fitting techniques were used. By progressin gestablished equations express mutual relations between raining time and runoff coefficient, between the time and infiltration capacity, between the time and infiltration velocity, respectively. Selected one from two groups of equations achieve optimum fitting effect and was used as mathematical model in practice.

(上接第59页)

员收入增加80%。1990年治理区减少泥沙效益70%。林、草面积达到宜林宜草面积的80%以上,林草覆盖率由现在3.8%提高到15%,社员收入翻一番。

在开展琼江流域治理的同时,涪江其它小流域(800平方公里)的公社,也要进行水土保持试点,推动全县水土保持工作,为后十年进入新的振兴时期开创新局面。

5. 搞好科学实验,培养技术人材。在

有条件的地方进行效益观测和示范推广工作。深入调查研究,注意总结群众中筑地埂,挖边沟、背沟、沉沙凼、池,挑沙面上,挑田、塘泥面上等蓄水保土的传统科学,并把它和小流域综合治理结合起来,发挥更大的作用。有计划的搞好培训,在县农校的县、区、社、队的干部培训中,开设水土保持专业课,普及水土保持知识。同时利用现场练兵等方式,培训水土保持基层骨干200至300人。