

# 林地土壤孔隙的贮水性能分析

吴长文

王礼先

(南昌水利水电高等专科学校 江西南昌 330029) (北京林业大学 100083)

**摘 要** 本文分析了土壤孔隙中水分贮存的水文学意义,指出了大流域蓄洪指标可用有效毛管水蓄贮量表示,而对山区小流域,非毛管孔隙可作为快速贮水能力指标。采用 Horton 入渗模型模拟双环入渗试验和采用土壤孔隙度分析法均可得到有效蓄洪指标。

**关键词** 林地 土壤孔隙 蓄洪量 快速贮水

## The Analysis on the Water Storage Properties of Soil Pore in Forested Land

Wu Changwen

(The College of Nanchang Water Resources and Hydro—Power Nachang 330029)

Wang Lixian

(The College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University Beijing 100083)

**Abstract** We analyzed the hydrological meaning about the water storage in soil pore, and put forth that the index of flood storage can be expressed as the volume of capillary pore storage, but for a small watershed in mountaineous area, the volume of non-capillary pore can stand for the index of quick flood storage. Using the Horton's infiltration model to simulate the infiltrating proess of double cycle type of infiltrator or computing the amount absorptive water in effective field-hold poriness can gain the amount of water absorption.

**Key words** forested land soil pore flood storage quick flood storage

### 1 不同孔隙度中水分贮存的水文学意义

雨水的入渗和水分蓄存均取决于孔隙度的大小和性质。土壤孔隙可分为毛管孔隙和非毛管孔隙。毛管孔隙蓄存的水分,不能补给江河或地下水,只以供植物根系吸收或土壤蒸发,而非毛管孔隙除为饱和土壤水分提供通道外,还为水分的暂时贮存提供了空间,这种贮存水对水资源管理极为重要。

目前在工程水文界和水土保持界对这一问题有不同的解释。土壤中的水由以下三部分组成:  
(1)土壤微细孔隙中毛管水吸水( $PF > 2.7$ ),这种水分可保存在土壤微细毛管中,可为植物吸收或

从地表蒸发,它只能在毛管力作用下运动;(2)土壤松散孔隙中的重力水( $PF < 2.7$ ),它一般是向下运动的,承受重力和毛管力两种力的作用,这种重力水所在的孔隙有两种,一种是较松散的孔隙( $1.6 < PF < 2.7$ ),这种孔隙贮存水分的时间较长,另一种是很松散的孔隙( $0 < PF < 0.6$ ),这种孔隙贮存水分的时间较短;(3)大孔隙中重力水( $PF = 0$ ),在重力作用下可能向下运动,当然也可以发生水平方向的运动,下行的水分通道主要是林木根系形成的孔洞,土壤裂隙、动物孔、穴等,水分水平运动的通道主要是堆积层和A层(即集合体结构层)的孔隙。

从有效水资源的利用而言,土壤层中只有以重力作用下的非毛管水才能进入河道或水库。因为这种水在土壤中贮存较短,故工程水文界定义的流域蓄水量<sup>[1]</sup>并不包括这一部分水量,因此其定义的流域蓄水容量可表示为:

$$I_M = (\theta_c - \theta_w)h \quad (1)$$

式中: $I_M$ 、 $h$ ——流域蓄水容量和土层深度;

$\theta_c$ 、 $\theta_w$ ——流域土壤土层平均田间持水量(即毛管体积含水率)和凋萎含水量。

而在我森林水文界,流行的观点是<sup>[2,3]</sup>,林地蓄洪作用主要反映在非毛管孔隙水的贮存能力上,非毛管孔隙是土壤快速贮水场所。这与工程水文的观点恰恰相反。

目前并没有研究者正视这一问题,笔者认为,这是一个事物的两个方面。因为工程水文界着眼的是大中流域,其洪水汇流时间往往很长,因此并不考虑坡面,尤其是林地的坡面和表层土壤回归流的阻滞径流的正效应,甚至认为这种阻延洪水的作用在某种不利的组合条件下,不但不会削减洪峰流量,而且可以大大增加洪峰流量。同时,洪量对大流域的平原地区的防洪是重要的控制指标。而水土保持界一般研究的是小流域的山洪,其非毛管水滞留坡面的时间比地表径流在水网的汇流时间要长或相当,故“快速贮水能力”可作为特小流域(对水土保持工程而言)的蓄洪主要指标,而对山区特小流域的山洪,其控制指标主要是洪峰流量,即使是历时几分钟的山洪,其所及之处的破坏作用亦是催毁性的。

## 2 试验条件与方法

本文试验条件已由本刊的“林地土壤入渗模拟分析”一文中所述。标准地面积为 $20\text{m} \times 20\text{m}$ ,用指北针和测角仪确定坡位、坡向和坡角。采用环刀取土样在室内恒温箱( $105^\circ\text{C}$ )烘干称重和吸水与浸泡测定容重、毛管非毛管孔隙度和总孔隙度<sup>[4]</sup>。一般情况下按 $0 \sim 10\text{cm}$ ,  $10 \sim 20\text{cm}$ ,  $20 \sim 40\text{cm}$  分层取样,每块标准地取三个样点,每个样点进行三次重复取样,其结果按三个取样点的平均值计。

## 3 不同林分的蓄洪量

设某一土壤剖面的体积含水率为 $\theta(z, t)$ ,初始含水率为 $\theta(z, 0)$ ,则在 $t$ 时刻累计土壤渗吸量 $F_1$ 可表为:

$$F_1 = \int_0^h [\theta(z, t) - \theta(z, 0)] dz \quad (2)$$

$z$ 、 $h$ ——分别为土壤深度坐标值(向下为正)和土壤层深度。

当 $\theta(z, t)$ 、 $\theta(z, 0)$ 分别用断面平均的田间持水量和凋萎含水量代入式(2),则变成式(1)。此时 $F_1 = I_M$ ,此即为蓄洪容量。这部分水用于植物吸收和土壤蒸发,不能再进入河道或水库。

但当式(6)中的 $\theta(z, 0)$ 采用雨季前的自然含水率, $\theta(z, t)$ ,仍用田间持水含水率(即毛管孔隙含水率),则雨季时的集水区有效“蓄洪量”( $I_e$ )表为:

$$I_e = (\theta_c - \theta_o)h = (e_o - \theta_o)h \quad (3)$$

$e_o$  为毛管孔隙度

由 Horton 公式可分解为如下的两部分：

$$f=f_1+f_2=f_oe^{-kt}+f_o(1-e^{-kt}) \tag{4}$$

式中,  $f_1$  代表包气带的吸水强度;  $f_2$  代表以重力水形式渗入地下饱和水层的补水强度, 并将以潜流的形式泻入河道, 成为地下径流。

初始时土壤处于干燥状态, 入渗以  $f_1$  为主。随着包气带缺水量得到补充,  $f_1$  逐渐减小,  $f_2$  逐渐增加。最后, 当包气带缺水量得到满足后, 入渗达到稳定状态, 入渗的水量将补给地下径流。

因此, 渗吸量  $F_1$  又可表为:

$$F_1 = \int_0^{\infty} f_1 dt = \int_0^{\infty} f_o e^{-kt} dt = f_o/k \tag{5}$$

从理论上讲, 对同一点的土壤剖面, 应有:

$$F_1 = I_e \tag{6}$$

蓄洪容量和有效蓄洪量的试验结果与荒坡的对比见表1, 有效蓄洪量  $I_e$  (根据孔隙度分析) 和土壤渗吸量  $F_1$  的比较如表2。

表1 不同林分蓄洪量及与荒坡对比

序 号	林分及 地 类	雨期前土壤状态*		凋萎点 持水量** (mm)	田间 持水量 (mm)	蓄洪 容量 (mm)	有效蓄 洪量 (mm)	$I_N$ (有林) $I_N$ (无林)	$I_e$ (有林) $I_e$ (无林)
		含水率(%)	持水量(mm)						
1	刺槐	6.84	29.7	26.1	146.1	140.0	116.4	2.25	2.08
2	油松	8.12	54.8	40.5	204.6	164.1	149.8	2.64	2.68
3	栎树	10.21	64.7	38.0	206.8	168.9	142.2	2.72	2.54
4	山杨	11.93	61.9	31.1	225.0	193.9	163.1	3.12	2.92
5	桦树	19.88	90.3	27.3	245.4	218.1	155.1	3.51	2.78
6	侧柏	9.56	33.8	21.2	129.9	108.7	96.1	1.76	1.72
7	落叶松	15.33	34.2	32.9	189.5	157.0	105.7	2.53	1.90
8	椴阔	12.04	70.6	35.2	274.9	239.7	204.3	3.86	3.66
9	荒草坡	7.52	26.4	21.1	83.2	62.1	55.8	1.00	1.00

注: \* 雨期前的土壤自然含水率为1991年、1992年4—5月中剔除降雨后3日内的测试数据平均值。严格来讲, 各地类的自然含水率因并非在同时测得的, 故一般不具有横向可比性。但因雨季前的土壤含水率变化不大, 故它基本反映了各地类的雨季前的土壤含水率大体情况(含水率为重量含水率);

\*\* 凋萎点持水量均按重量含水率%计。

表2 采用孔隙度计算的有效蓄洪量( $I_e$ )与人渗模型计算的渗吸量( $F_1$ )的比较

地类号*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_e$ (mm)	116.4	149.8	142.2	163.1	155.1	96.1	105.7	204.3	55.8
$F_1$ ** (mm)	109.6	168.3	112.2	166.4	402.1	166.8	289.7	235.7	54.0
相差(%)	+6.20	-11.00	+26.7	-1.98	-61.42	-42.39	-63.51	-13.32	+3.33

注: \* 同表7; \*\* \* 由“林地土壤入渗模拟及其分析”一文的表4提供。

由表7可知, 按实测土壤含水率和毛管孔隙度计算的有效蓄洪量  $I_e$  与按双环试验入渗模型计算的渗吸量  $F_1$  大多数是非常接近的, 只有白桦和落叶松林的误差较大, 经分析认为, 可能有如下原因:

(1) 双环入渗试验与土壤取样尽管在同一标准地上进行, 但并不在同一点; (2) 由孔隙度计算的蓄洪量可能因土壤厚度的估计误差而产生较大的偏差; (3) 白桦和落叶松林所选的标准地偏少(分别只有4块, 1991年测定), 这应使上述原因带来的误差的变异性更大。

由式(2)或式(3)可知, 当  $\theta_o$  达到田持水量, 则  $I_o=0$ , 即对大流域而言, 非毛管孔隙度仍可暂时

滞缓峰值流量或削减快速径流量(但不会减少暴雨总径流量),因此水源保护林对防治山洪的效果主要反映在林地非毛管孔隙的贮水容量,因为山洪一般出现在有充分前期降雨条件下,此时土壤达到或接近田间持水量,毛管孔隙已不再可蓄存水分,只有非毛管孔隙因排水迅速,可是暴雨提供径流调节场所。

由前面的分析结果可知,非毛管孔隙提供的暂时贮水容量比毛管孔隙的蓄洪容量要小得多。而坡陡的土石山地,因土层薄,其非毛管孔隙的贮水容量一般较小,故即使是有林地,其防治山洪的作用是有限的,为进一步提高防治山洪的标准,因此配合沟道工程是必要的。

## 4 结语

本研究区属半湿润向半干旱过渡的过渡带,夏季暴雨常引起山洪、泥石流危害及严重的土壤侵蚀。评价林地的蓄水、调洪作用,首先须研究林地的入渗和蓄水指标。研究表明,双环入渗仪虽是一种传统的测试入渗的方法,但采用 Horton 模型拟合双环入渗过程可以测定林地的渗吸量——即有效蓄洪量指标。

试验表明,本研究区的林地入渗率较大,双环入渗率指标大都在210~450mm/h,是对照荒地的1.4~3.0倍。林地的有效蓄洪时指标为96.1~204.3mm,是对照荒地的1.72~3.66倍,因此,大力营造水源保护林是保持水库工程长久发挥效益的重要措施。但若暴雨频率超过了一定的限度(即蓄洪指标值),水库水源保持林则会失去其调蓄洪水的功能。

## 参考文献

- 1 廖松等.工程水文学.清华大学出版社,1991.3
- 2 李昌哲等.森林植被水源涵养效益的研究.林业科学(1),1986
- 3 刘向东等.六盘山森林保持水土生态功能评价.西北水保所论文集,1991
- 4 南京土壤所编.土壤物理性质测定方法.科学出版社,1978

(上接第64页)

综合上述,新型直压式手动原状土取土钻在土壤调查中广泛应用将大大提高调查效率,缩短调查周期,节省时间、人力、体力和费用,同时土壤调查不再受作物生长季节的限制,这一切将摆脱长期以来一直困扰土壤调查制图中的大工作量(劳体力)、长周期、高费用支出的难题。从某种意义上说,这将带来土壤调查工作的一次革命。该钻的应用也有利于新土壤分类系统的快速实施和推行。

新型直压式手动原状土取土钻的结构和功能用于耕层土壤采样(耕层土壤采集器)已取得了十分满意的效果,利用该钻的“双凸”结构,采用钻体非截口,在操作方式上配以器械螺纹导轨可望在多数根系包括木本植物根系——森林土壤取原状土获得满意效果。该钻也可用于土壤微生物数量、区系、群落研究中原状土的取样。相信它的系列开发利用将具有更加美好的前景。

## 参考文献

- 1 熊毅等.开口土钻的设计.土壤学报,1956,4(2):197~199
- 2 山东农学院.简易平板仪、诊断取样土钻、土壤水分测定箱.土壤,1997,(5):259~261
- 3 朗好善.介绍一种水田取土器.土壤学报,1965,13(2)
- 4 吉尔 W R 等.耕作和牵引土壤动力学(本书翻译组).北京:中国农业机械出版社,1983
- 5 热利戈夫斯基 符 阿.耕作机械与农业物料的机械加工工艺.见:孙一源等译.北京:农业出版社,1983
- 6 任露泉等.几何非光滑典型生物体表防粘特性的研究.农业机械学报,1992,23(2):29~34