

用 MatLab 确定土壤水分特征曲线参数^①

彭建平, 邵爱军

(石家庄经济学院, 石家庄 050031)

摘要: 土壤水分特征曲线是定量研究土壤水运动的重要参数。目前, 土壤物理学家普遍采用 van Genuchten 模型 (简称 VG 模型) 来描述土壤水分特征曲线 (h - θ 曲线), 本文讨论了如何确定模型参数的方法。根据中国科学院栾城试验站大田土壤剖面所采土样实测土壤负压 h 和土壤含水率 θ 数据, VG 模型中的参数利用 MatLab 非线性拟合函数来确定, 通过用四参数模型计算, 计算的 θ 值与实测的 θ 值拟合较好, 误差相对较小。通过长江河口地区土样检验表明, 用 MatLab 方法确定 VG 模型参数, 计算值与实测值拟合也较好, 且计算值与实测值的残差平方和范数 < 0.001 。

关键词: 土壤水分特征曲线; MatLab; VG 模型; 曲线拟合; 模型参数

中图分类号: S152.7⁺¹

土壤水分特征曲线是土壤负压 h 和土壤含水率 θ 的关系曲线, 是定量研究土壤水分运动的重要参数。测定土壤水分特征曲线的方法主要有张力计法、压力膜法和离心机法等^[1]。张力计法测定的土壤负压范围为 $0 \sim 0.08$ Mpa, 压力膜法测定范围为 $0 \sim 1.5$ Mpa。

土壤水分特征曲线的影响因素复杂, 难以从理论上推导出确切的关系式, 但通过大量的实验研究, 人们已提出了一些经验公式来描述它, 其中常见的有: Broods-Corey 模型, Gardner 模型, van Genuchten 模型和 Gardner-Russo 模型等。目前, 国内外最为普遍使用的描述土壤水分特征曲线的方程是 van Genuchten 模型 (简称 VG 模型)^[2-6]。

VG 模型由美国学者 van Genuchten 于 1980 提出^[7], 其表达式为:

$$\theta = \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m} + \theta_r \quad (m = 1 - \frac{1}{n}, \quad 0 < m < 1) \quad (1)$$

式中: θ 为体积含水率 (cm^3/cm^3); θ_r 为残留含水率 (cm^3/cm^3); θ_s 为饱和含水率 (cm^3/cm^3); h 为负压 (cmH_2O); a, n, m 为表示土壤水分特征曲线形状的参数。

采用 van Genuchten 模型可以用一个函数来描述土壤水分特征曲线的 S 型曲线形态, 曲线光滑, 而之前大多用分段函数来描述, VG 模型能够较好地表征大多数土壤的水分特征曲线, 另外, 其好处还在于对该模型求导可得到另外一个重要参数容水度 $C(h)$:

$$C(h) = -\frac{d\theta}{d|h|} = \frac{(\theta_s - \theta_r)mn\alpha|\alpha h|^{n-1}}{[1 + |\alpha h|^n]^{m+1}} \quad (2)$$

如果已知饱和水力传导度 K_s , 由 VG 模型参数还可得到非饱和水力传导度 $K(\theta)$:

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \left[\left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^m \right\}^2 \quad (3)$$

VG 模型含有 4 个参数: a, n (其中 n 含有 m), θ_r , θ_s , 且为一非线性函数, 故模型参数的确定较为困难。目前确定模型参数常用的方法有 3 种^[7-11]: ①图解法; ②最小二乘法; ③迭代法。图解法一般精度较差, 最小二乘法、迭代法需要编写专门程序求解, 因此给 VG 模型的推广使用带来一定的困难。本文采用当前流行软件 MatLab, 根据实测数据, 在 MatLab 环境中只需调用非线性曲线拟合函数 lsqcurvefit, 就可确定 VG 模型参数。

1 研究方法

1.1 MatLab 简介

MatLab (Matrix Laboratory 的缩写) 的含义是“矩阵实验室”, 是美国 Math Works 公司于 1984 年推出的一套高性能的数值计算和可视化数学软件, 是目前国际上公认的优秀的数学应用软件之一。它是一种集矩阵运算、数值分析、图形处理和编程功能于一体的功能强大的分析、计算和程序设计工具。正是由于 MatLab 的强大功能, 在美国大学中深受师生的欢迎, 是大学生、硕士生和博士生必须掌握的基本技能; 在设计、研究机构, 是研究人员必备的软件之一, 广泛

①基金项目: 河北省自然科学基金项目(D2004000480)和河北省博士基金项目(B2002218)共同资助。

作者简介: 彭建平 (1959—), 女, 副教授, 主要从事数学及应用数学研究。

应用于科学研究的各个领域。在我国 MatLab 也开始得到应用和推广，逐渐渗透到各个研究领域。

土样采自中国科学院石家庄农业现代化研究所栾城试验站，从埋深 0 ~ 150 cm 取了 4 个土样，土壤质地和物理性质见表 1。

1.2 实验数据

表 1 土壤质地和物理性质
Table 1 Soil texture and physical properties of soils tested

土样编号	埋深 (cm)	土壤 质地	砂粒 (g/kg)	粉粒 (g/kg)	黏粒 (g/kg)	凋萎 系数	饱和 含水率	密度 (g/cm ³)
栾城 1 [#]	0 ~ 20	粉砂壤土	417.5	537.0	45.5	0.101	0.48	1.23
栾城 2 [#]	20 ~ 50	粉砂壤土	360.5	581.0	58.5	0.075	0.49	1.48
栾城 3 [#]	50 ~ 100	粉砂壤土	294.6	574.2	131.2	0.092	0.47	1.53
栾城 4 [#]	100 ~ 150	粉砂壤土	245.7	613.7	140.7	0.103	0.54	1.62

土壤水分特征曲线的测定在室内采用“张力计称重法”，用张力计（负压计）测定土壤负压 h ，用称重法测定相应的含水率 θ 。试验装置主要有以下部分组成：盛土盒、陶瓷头、测压板、电子天平等。为了保证装土的初始含水率均匀、密度一致，土样经过粉碎

和过筛处理，然后按一定的密度装填土样，装好的土样经过充分饱和后开始脱湿试验。受实验条件的限制，只测定了低吸力条件下的土壤负压。用“张力计”实测的低吸力条件下各个土样的负压 h 和用“称重法”实测的各个土样的含水率 θ 数据见表 2。

表 2 栾城试验站土壤水分特征曲线实测数据
Table 2 Measured data of soil water characteristic carves in the Luancheng Test Station

栾城1 [#]		栾城2 [#]		栾城3 [#]		栾城4 [#]	
h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)
0.00	0.476	0.00	0.492	0.00	0.468	0.00	0.540
27.20	0.434	23.12	0.460	34.00	0.440	27.20	0.523
53.04	0.406	47.60	0.436	55.70	0.429	46.24	0.509
62.56	0.401	99.28	0.412	82.96	0.415	61.20	0.501
69.36	0.392	129.20	0.390	102.00	0.403	76.16	0.486
81.60	0.382	157.76	0.373	123.76	0.391	95.20	0.476
95.20	0.365	190.40	0.351	148.24	0.378	110.16	0.466
108.80	0.351	244.80	0.327	172.72	0.362	136.00	0.452
126.48	0.335	258.40	0.318	193.12	0.35	149.60	0.442
159.12	0.312	299.20	0.305	240.72	0.329	161.84	0.429
197.20	0.287	337.28	0.296	292.40	0.313	178.16	0.413
251.60	0.271	368.56	0.288	327.76	0.304	191.76	0.400
262.48	0.261	393.04	0.282	363.12	0.297	208.08	0.389
286.96	0.253	429.76	0.273	394.40	0.289	232.56	0.374
359.04	0.252	455.60	0.269	446.08	0.281	265.20	0.358
452.88	0.236	481.44	0.264	477.36	0.276	327.76	0.335
503.20	0.234	508.64	0.261	512.72	0.272	384.88	0.324
		550.80	0.256	544.00	0.266	450.16	0.309
		597.04	0.253	582.08	0.262	510.00	0.301
		618.80	0.248	620.16	0.259	535.84	0.290
		658.24	0.245	669.12	0.255	603.84	0.283
		720.80	0.239			666.40	0.276

1.3 VG 模型参数确定

1.3.1 基本数学原理 非线性曲线拟合问题的数学模型为：

$$\min_x \frac{1}{2} \|F(x, xdata) - ydata\|_2^2 = \frac{1}{2} \sum (F(x, xdata_i) - ydata_i)^2$$

式中 $xdata$ 和 $ydata$ 为向量, $F(x, xdata)$ 为向量函数值, x 为拟合参数向量。

根据输入数据 $xdata$ 和得到的输出数据, $ydata$ 找到与函数 $F(x, xdata)$ 最佳的拟合参数 x 。

1.3.2 模型参数的确定 VG 模型含有 4 个参数: a, n (其中 n 含有 m), θ_r, θ_s , 所以按 4 参数求解。步骤如下 (符号%之后为注释语句):

(1) 首先编写函数文件: myfun_4cshu_thta1.m, 定义函数 $\theta(x, hdata)$ 。

```
function Thta=myfun_4cshu_thta1(x,hdata)
Thta=(x(3)-x(4))./(1+(x(1).*hdata).^x(2)).^(1-1./x(2)))+x(4)
% x=[x(1),x(2),x(3),x(4)]为待拟合参数向量
% x(1)=a, x(2)=n, x(3)=θs, x(4)=θr, hdata
= h 实测
```

(2) 输入 $h、\theta$ 实测数据。
load h_that_1.e %输入实测 $h、\theta$ 数据
 $hdata=h_that_1(:,1);$ %数据文件的第一列为 h
 $Thtadata=h_that_1(:,2);$ %数据文件的第二列为 θ
(3) 设定待定参数的初始值及上下界。

$x0=[0.1\ 1.5\ 0.5\ 0.1]$ %设定待定参数的初始值, 由于 $1>m=1-1/n>0$, 所以要求 $n>1$

$x1=[0\ 1\ 0\ 0];$ %待定参数的下界
 $x2=[5\ 5\ 1\ 1];$ %待定参数的上界

(4) 编写运行 M 文件 run_4cshu1.m, 调用函数 lsqcurvefit。

$[x\ resnorm]=lsqcurvefit(@myfun_4cshu_thta1,x0,hdata,Thtadata,x1,x2)$

%lsqcurvefit 是非线性曲线拟合函数, 算法是基于内部映射牛顿法的子空间置信域法

%@myfun_4cshu_thta1 表示调用函数 myfun_4cshu_thta1, $hdata=h$ 实测, $Thtadata=\theta$ 实测

%x0 = 待定参数的初始值, x1 = 待定参数的下界, x2 = 待定参数的上界

%输出拟合参数向量 x , $resnorm=\theta$ 计算与 θ 实测的残差平方和范数

%*****
%运行此程序, 将输出拟合参数 a, n (其中 n 含有 m), θ_r, θ_s

$x =$
0.015 1.6308 0.4713 0.1331
输出 θ 计算与 θ 实测的残差平方和范数
 $resnorm =$
0.00060293

由上述程序计算得到的 4 个参数: a, n, θ_r, θ_s (表 3), 拟合曲线 (图 1)。

表 3 土壤水分特征曲线拟合参数
Table 3 Fitted parameters of soil water characteristic curves

土样编号	埋深 (cm)	拟合参数				θ 计算与 θ 实测 残差平方和范数
		a	n	θ_s	θ_r	
栾城 1 [#]	0~20	0.015271	1.549702	0.472868	0.106239	0.000665
栾城 2 [#]	20~50	0.009297	1.514320	0.480380	0.093623	0.000540
栾城 3 [#]	50~100	0.008485	1.493724	0.464405	0.101290	0.000198
栾城 4 [#]	100~150	0.007299	1.560819	0.539275	0.090085	0.000747

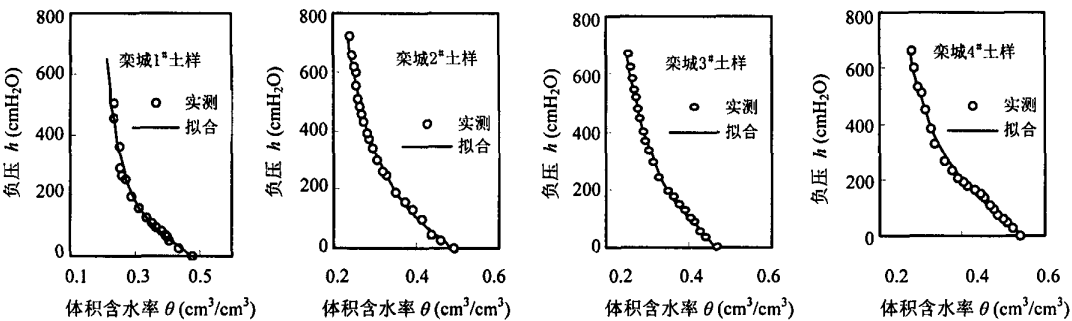


图 1 土壤水分特征拟合曲线

Fig. 1 Fitted curve of soil water characteristics

从误差来看,将拟合参数代入 VG 模型确定的 θ 计算值与实测 θ 值的比较来看,其残差平方和范数都 <0.001 。因此,应用 MatLab 确定的 VG 模型参数能够较好地拟合实测数据,误差相对较小。

1.3.3 长江河口土样参数 为了进一步对该方法进行检验,取长江河口土样确定其参数。土样采集于长江河口江苏省启东地区^[11],共采集了 3 个土样,土壤质地分别为粉砂壤土(启东 1[#])、粉砂壤土(启东 2[#])、粉质黏壤土(启东 3[#]),取样时均去除表土 20 cm。所取土样的机械组成见表 4。脱湿过程的实验数据见

表 5。

根据实测土壤负压 h 和含水率 θ 数据,用 MatLab 确定 VG 模型参数,通过 4 参数水分特征曲线拟合参数见表 6,其拟合曲线见图 2。由图 2 可见,实测值与计算值拟合较好,且 $\theta_{\text{计算}}$ 与 $\theta_{\text{实测}}$ 残差平方和范数 <0.001 ,完全能够满足生产实际应用的需要。

1.3.4 参数初值的影响 应用 MatLab 非线性拟合函数确定 VG 模型参数,须给出参数初值,迭代初值的不同很可能影响迭代结果,为此,选择了 3 组参数初始值进行迭代求解,计算结果见表 7。由表 7 可见,

表 4 土样颗粒分析结果
Table 4 Particle size analysis of the soil samples

土样编号	各级颗粒含量 (g/kg)				土壤质地	体积质量 (g/cm ³)
	0.25 ~ 0.1 mm	0.1 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.002 mm	<0.002 mm		
	细砂	极细砂	粉砂	黏粒		
启东 1 [#]	2	81	784	133	粉砂壤土	1.42
启东 2 [#]	3	60	787	150	粉砂壤土	1.38
启东 3 [#]	2	57	588	353	粉质黏壤土	1.20

表 5 长江河口土样实测数据
Table 5 Measured data of the soil samples from the estuary of the Yangtze River

启东 1 [#]		启东 2 [#]		启东 3 [#]	
θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)	θ (cm ³ /cm ³)	h (cmH ₂ O)
0.43	13.60	0.44	27.20	0.56	65.28
0.42	46.24	0.43	63.92	0.52	95.20
0.40	84.32	0.41	103.36	0.50	138.72
0.37	136.00	0.38	156.40	0.49	170.00
0.33	210.80	0.35	210.80	0.47	251.60
0.31	244.80	0.33	228.48	0.45	316.88
0.29	282.88	0.32	272.00	0.43	409.36
0.27	307.36	0.30	323.68	0.43	450.16
0.24	346.80	0.28	391.68	0.41	605.20
0.20	546.72	0.27	482.80	0.40	660.96
0.17	682.72	0.25	561.68	0.39	738.48
		0.24	601.12	0.38	802.40
		0.21	783.36	0.37	843.20

表 6 长江河口土样水分特征曲线拟合参数
Table 6 Fitted parameters of soil water characteristic curves of the soil samples from the estuary of the Yangtze River

土样编号	拟合参数				$\theta_{\text{计算}}$ 与 $\theta_{\text{实测}}$ 残差 平方和范数
	α	n	θ_s	θ_r	
启东 1 [#]	0.004605	1.849507	0.431286	0.022789	0.000405
启东 2 [#]	0.005100	1.641045	0.449649	0.054903	0.000436
启东 3 [#]	0.007234	1.307058	0.580059	0.105876	0.000849

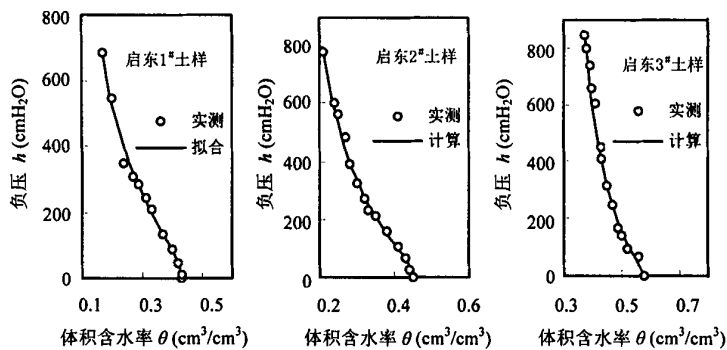


图 2 长江河口土样水分特征拟合曲线

Fig. 2 Fitted curves of soil water characteristics of the soil samples from the estuary of the Yangtze River

表 7 不同初始值对计算结果的影响

Table 7 Effect of different initial values on calculation results

土样编号	拟合参数				$\theta_{\text{计算}}$ 与 $\theta_{\text{实测}}$ 残差平方和范数	初始值 ($\alpha, n, \theta_s, \theta_r$)
	α	n	θ_s	θ_r		
栾城1*	0.013757	1.596212	0.468267	0.110000	0.000720	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.015418	1.546982	0.473345	0.106121	0.000666	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.015271	1.549702	0.472868	0.106239	0.000665	(0.01,1.5,0.5,0.1)
栾城2*	0.008172	1.596538	0.476019	0.110000	0.000630	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.010191	1.356317	0.484326	0.091590	0.000540	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.009297	1.514320	0.480380	0.093623	0.000540	(0.01,1.5,0.5,0.1)
栾城3*	0.008248	1.516828	0.463023	0.108475	0.000194	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.008456	1.435524	0.465239	0.078121	0.000219	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.008485	1.493724	0.464405	0.101290	0.000198	(0.01,1.5,0.5,0.1)
栾城4*	0.007192	1.608780	0.538119	0.109440	0.000695	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.007346	1.549072	0.539823	0.084843	0.000762	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.007299	1.560819	0.539275	0.090085	0.000747	(0.01,1.5,0.5,0.1)
启东1*	0.004539	2.158810	0.426099	0.028284	0.000382	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.004562	1.837204	0.430901	0.017303	0.000408	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.004605	1.849507	0.431286	0.022789	0.000405	(0.01,1.5,0.5,0.1)
启东2*	0.004937	1.802131	0.445857	0.059902	0.000496	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.005028	1.633385	0.449152	0.049317	0.000433	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.005100	1.641045	0.449649	0.054903	0.000436	(0.01,1.5,0.5,0.1)
启东3*	0.007451	1.298111	0.581971	0.098090	0.000841	(0.00001,1,0.00001,0.00001)
	0.007531	1.277875	0.582786	0.072863	0.000825	(0.001,1,0.001,0.001)
	0.007234	1.307058	0.580059	0.105876	0.000849	(0.01,1.5,0.5,0.1)

迭代初始值的选择对计算结果是有影响的，从本文所选取的初始值来看，对计算结果的影响不太大。

2 结果与讨论

2.1 结果

用 MatLab 确定 VG 模型参数，具有方法简单、不需编写专门程序、精度较高的特点。求解过程中只需调用 MatLab 中非线性曲线拟合函数 lsqcurvefit，然后

利用实测数据就可确定 VG 模型参数。
根据栾城农业试验站土样，由 4 参数模型确定的 VG 模型参数能够较好地拟合实测数据，误差比相对较小。且计算 θ 值与实测 θ 值的残差平方和范数<0.001，完全能够满足生产实际应用的需要。
栾城农业试验站土样为粉砂壤土， θ_r 取值范围为 0.09~0.11， n 值在 1.49~1.56 之间， α 值在 0.007~0.015 之间。长江河口土样为粉砂壤土和粉质黏壤

土, θ_r 取值范围为 0.02 ~ 0.11, n 值在 1.31 ~ 1.85 之间, a 值在 0.005 ~ 0.007 之间。计算值与实测值拟合较好, 且 $\theta_{\text{计算}}$ 与 $\theta_{\text{实测}}$ 残差平方和范数 < 0.001。

受实验条件的限制, 只测定了低吸力条件下的土壤负压, 如果有高吸力条件下的实测数据点, 可能会取得更好的效果。

2.2 讨论

在 VG 模型中, 参数 θ_r 为残留含水率。残留含水率 θ_r 为土壤水分特征曲线导数等于 0 时的土壤含水率, 即 $d\theta/dh = 0$ 时的土壤含水率。在实际应用中, 一般取凋萎点处的含水率, 即用凋萎系数作为残留含水率。一般情况下 $0 < \theta_r < \theta_s$, 土壤质地不同, θ_r 也不同。本文根据 4 参数模型拟合的 θ_r 取值范围为: 栾城站粉砂壤土为 0.09 ~ 0.11, 而该土样的凋萎系数为 0.075 ~ 0.103, 两者比较接近; 启东粉砂壤土、粉质黏壤土为 0.02 ~ 0.11。

饱和含水率 θ_s 为负压等于 0 时的含水率, 也即土壤含水量达到饱和时的含水率。一般情况下 $\theta_r < \theta_s \leq n$ (n 为土样孔隙度)。由 4 参数模型拟合的 θ_s 取值范围为: 栾城站粉砂壤土为 0.46 ~ 0.54, 而实测该土样的饱和含水率为 0.47 ~ 0.54, 两者比较接近; 启东粉砂壤土、粉质黏壤土为 0.43 ~ 0.58。

参数 n 的大小决定着土壤水分特征曲线的坡度, 当 n 大时, 曲线较缓; 当 n 小时, 曲线较陡。当 $m = 1 - 1/n$ 时, $n > 1$ 。根据计算结果, 栾城站粉砂壤土为 1.49 ~ 1.56; 启东粉砂壤土、粉质黏壤土为 1.31 ~ 1.85。

参数数 a 一般认为是进气值 h_a 的倒数。在饱和土壤中施加吸力, 当吸力较小时, 土壤中尚无水分排出, 土壤含水率维持饱和值; 当吸力增加超过某一临界值时, 土壤孔隙中的水分开始向外排出。该临界负压值称为进气值, 即土壤水由饱和转为非饱和时的负压值。不同质地的土壤进气值不同, 一般重质粘性土壤进气

值较大; 轻质土或结构良好的土壤进气值较小, 或没有明显的进气值, 因此很难从曲线图上获得 a 。 a 值上限一般为 0.05, 下限非常接近于 0。根据计算结果, 栾城站粉砂壤土为 0.007 ~ 0.015; 启东粉砂壤土、粉质黏壤土为 0.005 ~ 0.007。

参考文献:

- [1] 徐绍辉, 刘建立. 土壤水力性质确定方法研究进展. 水科学进展, 2003, 14 (4): 494-501
- [2] 钱天伟, 陈繁荣, 杜晓丽等. 一种推求 van Genuchten 方程参数的高性能优化方法. 土壤学报, 2004, 41(6): 138-140
- [3] 刘慧, 刘建立. 估计土壤水分特征曲线的简化分形方法. 土壤, 2004, 36 (6): 97-99
- [4] 张俊, 徐绍辉. 数值反演方法在确定土壤水力性质中的研究进展. 土壤, 2003, 35 (3): 36-40
- [5] Huang GH, Zhang RD, Huang QZ. Modeling soil water retention curve with a fractal method. Pedosphere, 2006, 16 (2): 3-12
- [6] 姚其华, 邓银霞. 土壤水分特征曲线模型及其预测方法的研究进展. 土壤通报, 1992, 23 (3): 142-145
- [7] van Genuchten MTh. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1980, 44 (5): 892-898
- [8] 沈荣开. 土壤水运动滞后机理的试验研究. 水利学报, 1987 (4): 38-45
- [9] 王金生, 杨志峰, 陈家军, 王志明. 包气带土壤水分滞留特征研究. 水利学报, 2002 (2): 1-6
- [10] 李法虎, 傅建平, 孙雪峰. 土壤水分运动参数的确定及其灵敏性能分析. 灌溉排水, 1993, 12 (2): 6-14
- [11] 邵爱军. 长江河口地区土壤水盐运移数值模拟及动态预测 (博士后研究报告). 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2000

Determination of Parameters of Soil Water Characteristic Curve by MatLab

PENG Jian-ping, SHAO Ai-jun

(Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Soil water characteristic curve is an important parameter for studying soil water movement quantitatively. Now, generally soil physicists use van Genuchten model (shortened as VG model) to describe the curve (h - θ curve). How to determine parameters of the VG model was explored in this paper. Based on the data of soil negative pressure h and soil water content θ measured at the Luancheng Agricultural Ecosystem Station, Chinese Academy of Sciences, the nonlinear simulation function of MatLab was used to determine parameters of the VG model. The θ values calculated through the four-parameter model fitted quite well the measured θ values, with relatively limited error. Soil samples collected from the estuary of the Yangtze River were used to verify the findings, showing that the values calculated using the VG model, of which parameters were defined by the MatLab method, fitted the measured data quite well too with the norm of residual error square sum less than 0.001.

Key words: Soil water characteristic curve, MatLab, VG model, Curve fitting, Model parameters