

# 土壤田间持水量理论公式的探讨

钱 胜 国

(长江水利水电科学研究院)

## 摘 要

本文从简化的土体模型出发, 导得了土壤最小持水量(即田间持水量)与土壤物理参数之间的关系, 用此公式计算田间持水量与实测结果颇为一致, 平均误差约在4%以下。

土壤田间持水量, 对于阐明土壤特性或指导生产实践都有重要意义。在进行灌区设计, 计算灌溉用水以及水利土壤改良都必须知道土壤水分这一常数。

关于这一水分常数的含义, 还有不同的见解, 但实际测定时, 都是使土体饱水后, 自由重力水完全排除, 土体稳定保持的含水量。从土体保持水分的力学机构来看, 主要是受吸着力, 孔洞弯月、毛管水的表面张力和重力作用。作者根据保持田间持水量的力学机构, 建立一个简化土体模型, 经过数理推演, 导得田间持水量与土壤基本物理参数的关系, 从理论上阐明了关于田间持水量的一些特性。所得关系式可作为确定田间持水量的公式。由公式计算同一些实测结果比较表明符合得较好。

## 一、田间持水量公式的推导

按照田间持水量的含义, 我们用  $W_p$  表示土壤颗粒吸着力作用保持的水分, 即田间持水量的第一部分。用  $W_s$  表示土壤孔洞弯月、毛管水表面张力保持的水分, 即田间持水量的第二部分, 因此田间持水量  $W_p$  为:

$$W_p = W_c + W_s \quad (1)$$

田间持水量第一部分的确定。现仍以试验测定为基础。柯良谢夫<sup>[7]</sup>的土壤水分运动机理的水分形态图式中, 纯粹吸着力的影响是以凋萎湿度为限的。但当土壤湿度达到植物生长阻滞湿度之前, 弯月、毛管力作用同时已开始存在, 不过此时毛管凝聚的水分是很少的。因此, 我们所指的  $W_c$  就相当于凋萎湿度。而凋萎湿度与土壤最大吸湿量成正比<sup>[4]</sup>, 于是

$$W_c = KW_m \quad (2)$$

$K$  为比例系数, 通常取为 1.5;  $W_m$  为土壤最大吸湿量(重量百分率)。

一些研究资料表明<sup>[3,4,6]</sup>, 最大吸湿量与土壤颗粒中物理性粘粒含量成正比。因此, 田间持水量的第一部分还可用土壤物理粘粒含量表出:

$$W_c = KK_d X_m \quad (3)$$

$K_d$  为系数, 取 0.16,  $X_m$  为物理粘粒含量(重量%),  $K$  同(2)式。不过仍以(2)式计算田间

持水量更直接。

田间持水量的第二部分含量  $W_s$  的确定。两个基本假定：(1)多孔体土壤颗粒接触处聚积的水达到平衡状态时，形成一个球形空洞，近似内切球体。(2)土壤固相颗粒个数与其相间的孔洞个数近似相等。当颗粒数很大时，此假定的近似性可以认为是很好的。

根据上述假定，单个孔洞的界面自由能  $E_i$  为

$$E_i = S_i \sigma_i \cos \theta_i \quad (4)$$

$S_i$  为单个孔洞的表面积(厘米<sup>2</sup>)， $\sigma_i$  为水的表面张力系数(达因/厘米)， $\theta_i$  为孔洞周围固相颗粒的湿润角。

土粒间单个孔洞形成悬着水所做的功为  $Q_i$ ，则

$$Q_i = \rho g q_i h_K \quad (5)$$

$\rho$  为水的密度(克/厘米<sup>3</sup>)， $g$  为重力加速度(厘米/秒<sup>2</sup>)， $q_i$  为单个孔洞所保持的水的体积(厘米<sup>3</sup>)， $h_K$  为表征单个孔洞水气界面形成的悬着水所移动的等效的某一毛管圆柱体的水柱高度(厘米)。因此，单个孔洞悬着水所作的功与孔洞水气界面能相平衡，即

$$\rho g q_i h_K = S_i \sigma_i \cos \theta_i \quad (6)$$

单个孔洞持水平衡后，设孔隙空洞直径为  $d_{ci}$ ，可近似看成是粒间内切球体直径。于是单个孔洞球体积  $V_{ci}$  用内切球体积表示出来，即

$$V_{ci} = \alpha \frac{4}{3} \pi \left( \frac{d_{ci}}{2} \right)^3 = \frac{\alpha \pi}{6} d_{ci}^3 \quad (7)$$

$\alpha$  为形状排列系数，无水时，单个孔洞体积与内切球体积之比，理想的球形颗粒立方体堆积，松排列时为 2.36，紧排列时为 2.57，自然状态的土壤可近似取 2.36。

于是，单个孔洞水气界面自由表面积  $S_i$  的近似值为：

$$S_i = \pi d_{ci}^2 \quad (8)$$

根据假定 2，设单位土重的土体内有  $N$  个孔洞，则单位土重内孔隙表面积为：

$$S = \sum_{i=1}^N S_i = N \bar{S}_i \quad (9)$$

$S$  为单位土重孔隙表面积， $\bar{S}_i$  为土体各个孔洞平均表面积。于是单位土重的土体内由孔洞表面能与所保持的悬着水所做的功相平衡，则

$$\sum_{i=1}^N \rho g q_i h_K = \sum_{i=1}^N S_i \sigma_i \cos \theta_i \quad (10)$$

如果视各孔的  $\sigma_i$  及  $\theta_i$  均相等，则上式右端可写成  $N \bar{S}_i \sigma \cos \theta$ 。由于  $\sum_{i=1}^N \rho q_i$  表示单位土重保持的水重，即为含水百分率(重量%)，于是土壤孔洞弯月、毛管水表面张力保持的水量为

$$W_s = \sum_{i=1}^N \rho q_i = \sum_{i=1}^N \frac{S_i \sigma_i \cos \theta_i}{g h_K} = \frac{N \bar{S}_i \sigma \cos \theta}{g h_K} \quad (11)$$

设单位土重孔洞体积总和为  $V_c$ ，单位土重内单个孔洞平均直径为  $d_c$ ，单个孔洞平均体积为  $V_{ci}$ 。把单位土重孔隙体积之总和看成一等效球体，其直径设为  $d_c$ 。于是单位土

重的孔洞个数可表示为

$$N = \frac{V_c}{V_{ci}} = \frac{\pi d_c^3}{\alpha \pi d_{ci}^3} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{d_c}{d_{ci}} \right)^3 \quad (12)$$

根据以上推导,单位土重的孔洞表面积为

$$S = \sum_{i=1}^N S_i = N \bar{S}_i = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{d_c}{d_{ci}} \right)^3 \cdot \pi d_{ci}^2 = \frac{\pi d_c^3}{\alpha d_{ci}} \quad (13)$$

单位土重的孔洞体积可以用土的容重和比重表示为:

$$V_c = \frac{1}{\gamma_d} \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) \quad (14)$$

式中  $\gamma_d$  为土的干容重 (克/厘米<sup>3</sup>),  $\Delta$  为土的比重。

如前所述,如果把单位土重中的总孔隙体积看成一个球形体积时,则该球的直径  $d_c$  的立方可求得为:

$$d_c^3 = 6 \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) / \pi \gamma_d \quad (15)$$

现在的问题是如何确定单个孔洞的平均直径  $d_{ci}$ 。它不仅与土壤机械组成有关,而且与土壤结构状态有关。为了实际确定  $d_{ci}$ ,我们把它转换成颗粒直径  $d_{ii}$ 。 $d_{ii}$  也表示某种土的平均颗粒直径。为此,由前述假定 2 可以得出,土体中孔隙体积 ( $V_c$ ) 与  $d_{ci}^3$  之比等于固相体积 ( $V_s$ ) 与  $d_{ii}^3$  的比,即

$$\frac{V_c}{\alpha d_{ci}^3} = \frac{V_s}{d_{ii}^3} \quad (16)$$

注意到  $V_c/V_s$  表示孔隙比  $\varepsilon$ , 因此有:

$$d_{ci} = (\varepsilon/\alpha)^{1/3} d_{ii} \quad (17)$$

这里在计算孔隙比  $\varepsilon$  时,应去掉由分子结合水占去的孔隙,即紧密结合水(含量为最大吸湿量)和松结合水(含量为  $0.5W_m$ )占去的孔隙。即:

$$\left( \frac{W_m}{1.5} + \frac{0.5W_m}{1.25} \right) \gamma_d = 1.07 \gamma_d W_m \quad (18)$$

此时,土壤的孔隙部分为  $\left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) - 1.07 \gamma_d W_m$ , 相应的非孔隙部分,即“固相”部分则为

$1 - \left[ \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) - 1.07 \gamma_d W_m \right]$ , 于是由孔隙比的定义有

$$\varepsilon = \frac{\left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) - 1.07 \gamma_d W_m}{1 - \left[ \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) - 1.07 \gamma_d W_m \right]} = \frac{1}{\frac{\gamma_d}{\Delta} + 1.07 \gamma_d W_m} - 1 \quad (19)$$

将(15)式和(17)式的右端代替(13)式中的  $d_c$  和  $d_{ci}$ , 然后再将(13)式右端取代(11)式的  $N \bar{S}_i$ , 就可得出弯月、毛管力保持的水分含量为:

$$W_s = \sum_{i=1}^N \rho q_i = \frac{6\sigma \cos\theta}{g\alpha^{2/3} \varepsilon^{1/3} \gamma_d d_{ii} h_K} \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\Delta} \right) \quad (20)$$

上式中的孔隙还应去掉  $1.5W_m$  占去的孔隙,此孔隙为(18)式所算出,于是(20)式写成:

$$W_s = \frac{6\sigma \cos\theta}{g\alpha^{2/3}\epsilon^{1/3}\gamma_d d_{ihK}} \left[ \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta}\right) - 1.07\gamma_d W_m \right] \quad (21)$$

将(2)式和(21)式代入(1)式得田间持水量的公式为:

$$W_p = KW_m + \frac{6\sigma \cos\theta}{g\alpha^{2/3}\epsilon^{1/3}\gamma_d d_{ihK}} \left[ \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta}\right) - 1.07\gamma_d W_m \right] \quad (22)$$

$W_p$  以重量百分比表示。若以容积百分比表示,则田间持水量公式可写成:

$$W_v = K_v W_m \gamma_d + \frac{6\sigma \cos\theta}{g\alpha^{2/3}\epsilon^{1/3}d_{ihK}} \left[ \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta}\right) - 1.07\gamma_d W_m \right] \quad (23)$$

(22)式中的  $K = 1.5$ , (23)式中的  $K_v = 1.07$ 。

表 1 不同土壤田间持水

Table 1 Comparison between results of field capacity

深 度 (cm) Depth	实 测 <sup>[2,7,8]</sup> Measurement				
	比 重 ( $\Delta$ ) Specific wt.	容重( $\gamma_d$ ) 克/cm <sup>3</sup> Bulk density	孔隙度 ( $\alpha$ ) % Porosity	最大吸湿量 ( $W_m$ )% Maximum hygroscopicity	田间持水量 ( $W_p$ )% Field capacity
东北黑土 <sup>[2]</sup> Black soil in					
0—10	2.55	0.90	64.7	12.0	40
10—20	2.57	1.00	61.1	12.0	40
20—30	2.58	1.05	59.3	12.0	35
30—40	2.58	1.15	55.4	12.2	32
40—50	2.60	1.20	53.8	12.5	31
50—60	2.60	1.20	53.8	13.0	31
60—70	2.62	1.30	50.4	13.0	31
70—80	2.65	1.40	47.2	13.0	30
80—90	2.65	1.40	47.2	13.5	30
90—100	2.65	1.40	47.2	13.5	30
华北耕种草甸土 <sup>[1]</sup> Cultivated meadow					
0—10	2.73	1.23	54.9	7.5	28.8
10—18	2.74	1.61	41.2	7.5	23.6
18—30	2.74	1.47	46.4	5.5	24.0
深厚黑钙土 <sup>[4]</sup>					
0—10	2.50	0.97	61.2	10.6	48.0
10—20	2.55	1.16	54.5	9.8	35.5
20—30	2.56	1.11	56.6	9.3	32.6
30—40	2.57	1.18	54.1	9.3	31.4
40—50	2.57	1.16	54.9	9.2	29.5
50—60	2.63	1.21	54.0	8.9	29.3
60—70	2.62	1.21	53.8	7.9	27.7
70—80	2.62	1.24	52.7	8.0	26.3
80—90	2.61	1.22	53.3	7.9	26.0
90—100	2.65	1.25	52.8	7.5	25.6

(22) 和 (23) 式中的各项参数都是可以求得的。表面张力系数  $\sigma$  取 74 达因/厘米;  $\cos\theta \approx 1$ ;  $g = 981$  厘米/秒<sup>2</sup>;  $\alpha$  对大多数土壤均可取为 2.36。  $d_{ii}$  的确定, 需要机械组成的资料, 而且计算也较复杂。  $h_K$  更觉难以确定。为此, 我们将  $d_{ii}h_K$  (即二者相乘) 作为经验系数来处理。笔者根据大量实测资料, 经计算比较发现  $d_{ii}h_K$  的值, 对于不同质地的土壤约为 0.45—0.65, 变幅不大。而且此值与 A. A. 罗戴<sup>[4]</sup>按颗粒呈立方体堆置的情况下的最大孔径和最小孔径计算的毛管上升高度  $H$  (厘米) 与颗粒直径  $D$  (厘米) 的乘积 ( $DH = 0.41-0.73$ ) 的值很接近。且二者的平均值分别为 0.55 和 0.57, 几乎是相等的。本文公式中的  $d_{ii}$  可相应于 A. A. 罗戴式中的  $D$ ,  $h_K$  相应于  $H$ 。因此,  $d_{ii}h_K$  就相当于 A. A. 罗戴指出的含义。从这个意义上说,  $h_K$  表示该土壤毛管水的平均上升高度。

### 量计算与实测比较

by calculation and measurement in different soil types

the northeast of China

按本文(21)式计算的田间持水量 Field capacity calculated by equation 21 in this paper								绝对误差 %
$\alpha^{2/3}$	$g^{1/3}$	$d_{ii}h_K$ (cm <sup>2</sup> )	$1.5W_m$ %	$n - 1.07r_dW_m$ %	$\frac{6\sigma\cos\theta}{\alpha^{2/3}g^{1/3}g\gamma_d d_{ii}h_K}$	$W_i$ %	田间持水量 $W_p = (W_i + 1.5W_m)\%$ Field capacity	Absolute error
1.6889	1.147	0.52	18.0	53.10	0.499	26.5	44.5	4.5
1.7067	1.085	0.52	18.0	48.36	0.470	22.67	41.7	0.7
1.716	1.056	0.52	18.0	45.8	0.458	20.97	38.9	3.9
1.735	0.995	0.52	18.3	40.50	0.439	17.73	36.03	4.03
1.742	0.969	0.52	18.75	37.80	0.429	16.23	34.98	3.98
1.742	0.966	0.52	19.5	37.10	0.431	16.00	35.5	4.5
1.759	0.916	0.52	19.5	32.30	0.415	13.42	32.92	1.92
1.775	0.871	0.52	19.5	27.70	0.402	11.13	30.63	0.63
1.775	0.868	0.52	20.25	27.00	0.404	10.87	31.12	1.12
1.775	0.868	0.52	20.25	27.00	0.404	10.87	31.12	1.12

soil in the north of China

1.737	1.02	0.55	11.25	45.0	0.3784	17.06	28.3	-0.5
1.803	0.832	0.55	11.25	28.3	0.3407	9.65	20.9	-2.7
1.779	0.913	0.55	8.25	37.7	0.345	13.0	21.3	-2.7

Thick chernozem

1.706	1.095	0.52	15.9	50.2	0.480	24.1	40.0	-8.0
1.739	0.997	0.53	14.7	42.3	0.4247	17.98	32.68	-2.8
1.729	1.032	0.53	14.0	46.0	0.431	19.67	33.62	1.02
1.741	0.9936	0.53	14.0	42.4	0.418	17.71	31.66	0.26
1.737	1.005	0.53	13.8	43.5	0.421	18.30	32.10	2.6
1.741	0.995	0.53	13.4	42.5	0.407	17.29	30.64	1.34
1.743	1.00	0.56	12.0	43.6	0.384	16.73	28.57	0.87
1.748	0.982	0.56	12.0	42.1	0.3798	15.97	27.97	1.64
1.745	0.991	0.56	12.0	43.0	0.383	16.45	28.30	2.3
1.747	0.987	0.58	11.3	42.8	0.362	15.49	26.73	1.13

从实际测定的土壤田间持水量资料分析中得到的  $d_{ihk}$  的值,与土壤机械组成,结构状况,孔隙形态等有关。粘重而疏松的土壤,  $d_{ihk}$  值较小,反之,则较大。但变化幅度不大。根据实测资料比较分析得到的  $d_{ihk}$  值如下,即粘质土、壤质土、砂质土分别为 0.45—0.52、0.53—0.58 和 0.59—0.65 (厘米<sup>2</sup>)。

于是由实际土壤容重 ( $\gamma_d$ ),孔隙比 ( $\epsilon$ ),比重 ( $\Delta$ ), 并采用上述  $d_{ihk}$  的值,就可按(22)式或(23)式算出土壤田间持水量。

## 二、几个计算实例

现将几个不同地区土壤田间持水量计算值与实测值列入表 1。

计算时,颗粒排列系数 ( $\alpha$ ) 取理想排列的 2.36 和 2.57 按孔隙度线性插值确定。孔隙比  $\epsilon$  按(19)式计算。我们编制程序在微型机 PC-1500 上计算,十个土层的田间持水量约 3 分钟。

由表 1 的算例可见,剖面各测点平均误差不超过 2.5%,个别土层(如深厚黑钙土)相差 8%,这可能是由于该土层有机质含量很高,而本公式没有考虑这一因素的影响。一般误差在 4% 以下,全剖面平均的误差则更小。因此,本公式可用来计算田间持水量。

## 三、讨 论

1. 由假定 2 得出的公式(17),即孔洞直径与土粒直径的关系  $d_{ei} = (\epsilon/\alpha)^{1/3} d_{ii}$ 。我们对  $W_m = 10\%$ ,  $8\%$  和  $5\%$  的三种情况,采用孔隙度为 47.64% (相应于立方体堆积的理想土壤),比重为 2.70,干容重为 1.414 克/厘米<sup>3</sup> (按孔隙度、比重反算而得) 和  $\alpha$  取 2.36 时,由(17)式算出  $(\epsilon/\alpha)^{1/3}$  的值分别为 0.59, 0.67, 0.656, 平均为 0.623, 即  $d_{ei} = 0.623 d_{ii}$ 。此值正好介于按立方体堆积的理想土壤的最大孔径和最小孔径与颗粒直径的比值 0.73 和 0.41 之间。由此可见,假定 2 是成立的。

2. 由(20)式或(22)式可以看出,弯月毛管力保持的水分含量与容重  $\gamma_d$  成反比,与孔隙度成正比,与等效颗粒直径  $d_{ei}$  和毛管力,即毛管水的平均上升高度 ( $h_k$ ) 的乘积成反比,这也反映了土壤机械组成对田间持水量的影响。

(22)式表明,右边第一项是随土的容重而线性增加,第二项则随容重增加而减小。因此二者之和有趋于常数之势。这说明了以容积百分比表示的土壤田间持水量接近某一常数的原因。现取比重  $\Delta = 2.70$ , 最大吸湿量  $W_m = 4\%$ ,  $8\%$ ,  $12\%$ , 相应的  $d_{ihk}$  取为 0.58, 0.55, 0.50。  $\alpha$  及  $\epsilon$  的计算方法如前所述。于是按(23)式计算了不同容重的田间持水量(容积%),并绘出它与土壤容重的关系曲线(图 1)。由该曲线可见,对于确定的  $W_m$ , 以容积百分比表示的田间持水量很接近一常数。而容重在 1.0—1.25 克/厘米<sup>3</sup>时略高(最高与最低相差不到 2%),这与一些野外实测的结果<sup>[3]</sup>,以及其它途径确定的数据<sup>[1]</sup>所反映的规律是一致的。

3. 上述导出的田间持水量的第二部分含水量,实际上就是田间持水量阶段的土壤有效水分含量。导得的关系式表明,有效水分含量随容重增加几乎是线性的减少。因此,疏

松的土壤有效水分含量较高,我们所得的理论关系充分证明了这一众所周知的事实。关系式还表明,容重调节到 1.0—1.25 克/厘米<sup>3</sup>时,有效水分含量较高。

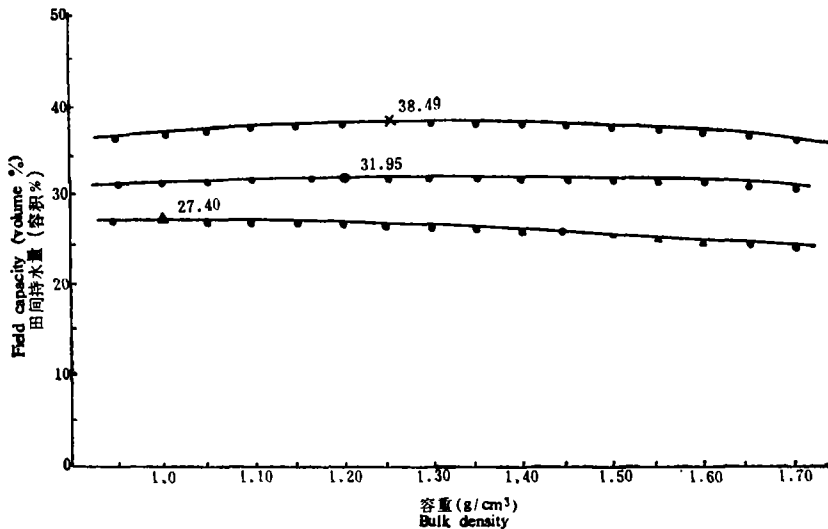


图 1 田间持水量(容积%)与容重的关系(按本文(23)式计算)

Fig. 1 Relationship between field capacity (volume %) and bulk density (calculated by the equation 23 in this paper)

## 四、结 论

1. 土壤田间持水量(即最小持水量)可分为土粒吸着力保持的水分和土孔洞弯月、毛管水表面张力保持的水分两部分。前者与土壤物理性粘粒含量有很好的线性关系,并可以用土壤最大吸湿量( $W_m$ )来确定;后者则与土壤物理性质有关。

2. 把土体简化为球形颗粒堆积,由单个孔洞弯月、毛管水气界面能保持的水分求和,得出单位土重保持的水分量。又假定孔洞个数与土颗粒个数相等,借助土壤物理指标的关系变换,把土孔洞直径( $d_{ii}$ )转换为用土颗粒直径( $d_{ii}$ )表示,即得出了关系式  $d_{ii} = (\epsilon/\alpha)^{1/3} d_{ii}$ 。  $\epsilon$  为孔隙比,  $\alpha$  为形状排列系数。进而求得第二部分含水量与土壤容重( $\gamma_d$ ), 比重( $\Delta$ ), 孔隙比( $\epsilon$ ), 土颗粒直径( $d_{ii}$ ), 土孔洞等效毛管上升高度( $h_K$ )的乘积( $d_{ii}h_K$ )以及水的表面张力系数( $\sigma$ )之间的关系。从而求得确定田间持水量的公式为

$$W_p = KW_m + \frac{6\sigma \cos\theta}{g\alpha^{2/3}\epsilon^{1/3}\gamma_d d_{ii} h_K} \left[ \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta}\right) - 1.07\gamma_d W_m \right]$$

$\alpha$  为颗粒排列系数,取 2.36—2.57。  $\cos\theta \approx 1.0$ ,  $\sigma = 74$  达因/厘米。 $d_{ii}h_K$  做为经验常数,介于 0.45—0.65 (厘米<sup>2</sup>) 之间。算例表明,与实测结果颇为一致,平均误差一般在 4% 以下。对实际应用已有足够精度。

## 参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤及水土保持研究所等编, 1961: 华北平原之土壤, 345 页表 134 及图 59, 科学出版社。
- [2] 乔樵、沈善敏、曾昭顺, 1979: 东北北部黑土水分状况之研究, II, 黑土农业水分状况及水分循环, 土壤学报, 第 16 卷 4 期 329—338 页。
- [3] 钱胜国 1981: 田间持水量与土壤容重机械组成的相关特性。土壤通报, 第 5 期。
- [4] A. A. 罗戴(巴逢辰等译), 1964: 土壤水, 科学出版社。
- [5] Б. Н. Миурчи(徐富安译), 1966: 土壤结构和土壤水分的物理性质, 土壤译丛第 3 期。
- [6] К. Н. шишков (朱振武等译), 1962: 土壤水分特性与其粒度成分的相关性, 农业物理学问题, 科学出版社。
- [7] Ф. Е. Коляев (袁剑舫译), 1958: 土壤中水分可动性以及调节它的某些方法。苏联土壤科学研究的最新进展, 科学出版社。
- [8] Кикоин, И. К. и Кикоин, А. К., 1963: Молекулярная Физика. р. 336—340, ФМ Москва.

## ON THEORETICAL EQUATION OF FIELD MOISTURE CAPACITY

Qian Shengguo

(Yangtze Water Conservancy and Hydroelectric Power Research Institute)

### Summary

This paper is to study a theoretical equation used to calculate field moisture capacity instead of complicated measurement in situ. It is considered that this moisture constant includes two parts, i.e. that held by the attractive force of soil particles and that held by water surface energy. The former is calculated by 1.5 times of maximum hygroscopicity ( $W_m$ ), i.e. % of moisture at wilting point ( $KW_m$ ); the latter is obtained by a simplified soil model in ideal arrangement of ball particles. It is assumed that the number of soil pores is equal to the number of soil particles. The amount of water held by soil pore space and capillary force in relation to soil bulk density ( $\gamma_d$ ), specific weight ( $\Delta$ ), void ratio ( $\epsilon$ ), average particle size ( $d_n$ ), capillary height ( $h_K$ ), coefficient of water surface tension ( $\sigma$ ) can be obtained from theoretical derivation, thus the equation of field moisture capacity is given as follows:

$$W_p = KW_m + \frac{6\sigma\cos\theta}{g\alpha^{2/3}\epsilon^{1/3}\gamma_d d_n h_K} \left[ \left(1 - \frac{\gamma_d}{\Delta}\right) - 1.07\gamma_d W_m \right]$$

where  $\alpha$  is the coefficient of arrangement of soil particles,  $g$  is acceleration of gravity. The results obtained from this equation is in good agreement with that of field measurement.