BTC确定运移参数的方法

马北雁

（广东省生态环境与土壤研究所，广州 510650）

张一平

（西北农业大学土壤农化系，陕西杨陵 712100）

摘 要

养分离子和污染物的运移是农学和环境学共同关注的研究热点。随着模拟模型的发展，模型参数的确定成为关键问题。本文综述了由BTC确定参数的方法：试错法，斜率法，概率特征法，最小二乘法，图解法，截获法，力矩法，并加以简要的述评。

关键词 BTC 运移参数 确定方法

土壤液相并非纯水，而是含有溶质的水溶液。土壤中的溶质不外乎盐类，肥料、有机质、无机废物和农药等可溶于水中的化学物质，它们始终处于运动和动态平衡之中[7]。溶质在土壤剖面中的迁移，与养分溶质由根区淋失和对植物吸收利用的有效性，以及污染性溶质对土壤和地下水资源的潜在性污染等问题直接相关[33]。农学中农业化合物的施用和环境学中土地废弃物处理的管理，都要求我们有效地预报溶质在土壤系统中的动态。资源、环境意识的增强，计算机技术的发展，促进了溶质运移在宏观区域模拟和微观机理模拟两方面的进展。不同组分间，与生物或与土壤固相间存在相互作用的溶质称为反应性溶质，模拟反应性溶质运移作为农学和环境学等学科共同的研究问题，得到各国学者的广泛关注。从发展趋势看，水溶性污染物和有机污染物在非饱和带的运动规律仍是当前土壤物理学研究的前沿领域[5]。

国外反应性溶质运移的研究较多。早期模拟单种或两种离子在土壤中的迁移[11,20]，三种或更多阳离子运移模型最近才出现[12,25,30,37]，并且引入动水不动水概念[26]。新近的研究工作已扩展到非饱和区非稳态流条件下离子的运移[9,10,27]。国内自80年代起开始进行土壤溶质运移模拟方面研究，目前以盐分运移的一维模拟研究为主，且多为简单的对流--弥散动力学传输研究[6]。对反应性溶质运移的研究，有的考虑土壤盐分由固相的溶解及液相的饱和析出[2,4]，也有考虑不动水体及吸附对运移的影响[4]，并且出现一些综述[1,3,6]。系统的研究则未见报导。

近30年来，已经提出了许多有关多孔基质上溶质运移的原理模型。随着各类模型的不断提出，一个重要问题就是各种参数的确定。这些模型成功与否，很大程度上依赖于输入该模型的各种参数的精度。参数的准确性影响着方程的计算精度，因而，运移参数的确定是运移研究的一个重要方面。模拟反应性溶质的运移，涉及弥散系数D，孔隙水流速V，以及吸附或交换系数。在质流弥散方程（Convection-Dispertion Equation，CDE）中一般引入阻滞因子（Retardation

收稿日期：1996－03－29

Factor，R)来解释简单的线性吸附或交换。确定参数的方法分实验测定法和穿透曲线(Breakthrough Curve，BTC)数据拟合法两大类。目前流行有几种由实验数据BTC确定运移参数的方法包括解析解法，图解法，拟合法和力矩法等数种[22,28]。这些方法都基于实验条件下CDE对运移描述的正确性，虽然田间条件的时空变异性导致CDE对运移描述的不充分[18]，但CDE方程仍是最为学者们接受的方法，这一传统方法对运移的良好模拟已得到广泛的实验支持，且因其简单的形式而得到广泛的应用[22,23]。下面讨论了由土柱易混置换实验数据穿透曲线(BTC)确定这些参数的方法。

一、CDE的解析解及其简化式

现有的由观测浓度分布确定所需要的运移参数的方法均基于CDE的解析解。假定均质土柱，稳态水流，线性平衡吸附条件，或者忽略分子扩散的纯弥散体系条件下，在相对较大的P值时，省略解析解的较小项，CDE的解析解的近似估计式为[34]：

$$C(x,t)=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left[\frac{(Rx-Vt)}{2\sqrt{DRt}}\right] \quad (1)$$

引入无量纲时间参数孔隙体积数(T)和土柱Peclet数(P)，在x = L时，我们得到(1)式的简化式：

$$C_e(T)=\frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left[(R-T)\sqrt{\frac{P}{4RT}}\right] \quad (2)$$

其中：

$$T = Vt/L \quad (3)$$

$$P = VL/D \quad (4)$$

二、阻滞因子R和弥散系数D的确定方法

(一)试错法(Trial and error)

该法基于式(2)，适合于较大P值条件下D和R的近似估计。初始R值等于相对浓度为0.5时的孔隙体积T。比较实测BTC和一系列理论BTC，拟合效果最佳的理论BTC具有的P，R值即为参数估计值。本法繁琐费时，再现性差。

(二)斜率法

式(2)对T微分，得到BTC的密度[38]，P在T＝R处求解得[34]：

$$P=4\pi R^2S_T^2 \quad (5)$$

S_T为T＝R处BTC的斜率。R的初值由Ce(R) = 0.5得到。得到的初值估计应用于半无限一类边界条件下求得的解析解而得到更好的估计Ce(R)，查实测BTC，得到T即为更优估计R。把R代入式(5)得更优P。在该点求得斜率S_T，重复上述步骤可得更优解。

本法得到的亦是P和R的近似估计，但较试错法，其应用相对简单，少量计算可得到相当准确的结果。本法因基于一类边界条件下求得的解析解，所以仅适用于分析出流浓度(Flowing concentration)，而不适宜分析田间驻留浓度(Resident concentration)。在较高P值时，本法对实验

室和田间数据都可得到相当准确的结果。

Yamaguchi 等(1989)应用BTC密度特性,应用有限差分,提出可同时估计V、D的斜率法[38]。

(三)概率特征法

1. 假定式(1)的浓度剖面服从正态分布,由BTC数据,D可由下式求得[13]:

$$D=\frac{1}{8}\left[\frac{(x-Vt_{0.16})}{\sqrt{t_{0.16}}}-\frac{(x-Vt_{0.84})}{\sqrt{t_{0.84}}}\right] \qquad (6)$$

其中$t_{0.16}$和$t_{0.84}$分别指C/Co等于0.16和0.84时的时间。本法适宜分析无化学反应,一类边界条件下,步输入(step input)的BTC。

2. 式(2)转化得[34]:

$$\text{inverfc}(2Ce)=\frac{\sqrt{P}}{2}[\ln R-\ln T] \qquad (7)$$

在概率纸上,以Ce = C/Co为lnT的函数作图得一直线。inverfc(2Ce)～lnT的斜率∂ 可用相距足够远的两点的inverfc(2Ce)值确定。P和∂ 的关系表述为[34]:

$$P=4\partial^{2}-\triangle \qquad (8)$$

△为校正因子(Correction factor),其近似值见Van Genuchten and Wierenga(1986)。

在未扰动,团聚和其他结构土壤上,或土柱有大孔隙存在,及土柱填装不良,密度不均条件下,实验数据在高浓度和低浓度两端会出现非线性偏离,且这一偏离在对数纸上被放大。故在分析中应以接近Ce = 0.5处的观测数据为主,以减小非线性偏移的影响。

本法虽较斜率法涉及的计算多,但允许在较大的范围内确定斜率∂ ,故结果更准确,而且可应用于各种解析解类型。并且,采用对数纸,分析计算可大大简化。其缺点是P<5时,准确性降低。

(四)最小二乘分析法

该法是试错法的扩展。连续调整P,R,使观测BTC与理论BTC的剩余平方和Rs缩小,直至最小。

$$R_s=\sum_{i=1}^{n}[Ce(L,Ti)-C(L,Ti)]^2 \qquad (9)$$

Ce(L,Ti)和C(L,Ti)分别为观测点和理论点浓度,n为观测次数,Rs的缩小可通过图解法或数值法。本法是目前最方便和最准确的方法之一,再现性强,对步(Step)和脉冲(pulse)输入均适用。Parker and Van Ganuchten (1984)给出了CXTFIT程序[28]。

(五)图解法

BTC的形状是由交换等温线和合适的实验条件,连同其它一些因素决定的,因而由阳离子的穿透曲线同时得到交换选择系数和CEC是可行的。图解法确定有效R值,假定弥散为0及物理平衡条件,图1描述了浓度为Co,脉冲时间为to的溶质进入长为L的土柱后,在不同时间,作为位置函数的土壤溶质浓度分布情况。

ρ s:单位体积基质中液相溶质浓度;$V^* = V/R$,线性交换溶质的速度。

由脉冲平均位置(x)可得[22]:

平均滞留时间(the mean residence time):L/V^*

平均穿透时间(mean breakthrough time):$(L/V^*)+(to/2)$

阻滞因子R是溶质和溶剂平均驻留时间之比,这使得R可用作图法或力矩法求得。

对脉冲输入[22]:

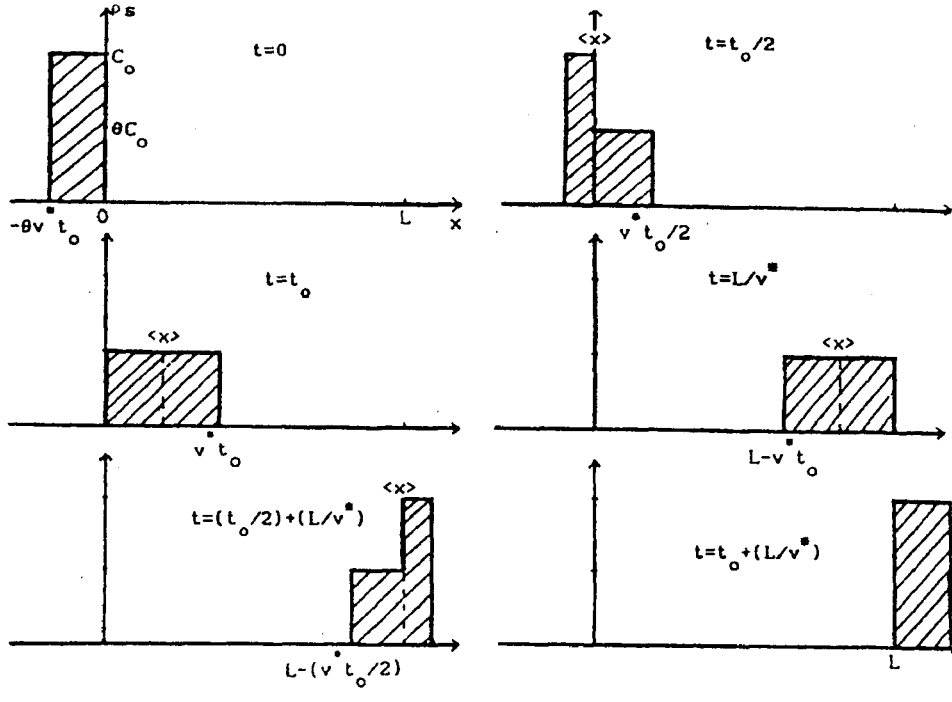

图1 脉冲输入随时空的假定浓度分布(引自Leij 1989)

Fig.1 Hypothetical concentration distribution as a function of position at various times for a pulse input.

$$R=\frac{\bar{t}_{solute}-(t_0/2)}{(L/V)} \qquad (10)$$

对步输入：

$$R=V\bar{t}/L \qquad (11)$$

溶质$\bar{t}$的确定如图2示，满足面积A＝B条件，通过图解或积分得到。

图解法对非反应性溶质和反应性溶质均适用，对溶质的输入方式亦无限制(步和脉冲均可)。对非线性交换等类型的反应性溶质，则只有在脉冲置换完成前出流浓度即达最大值Co时，才能由图解法确定有效R值。

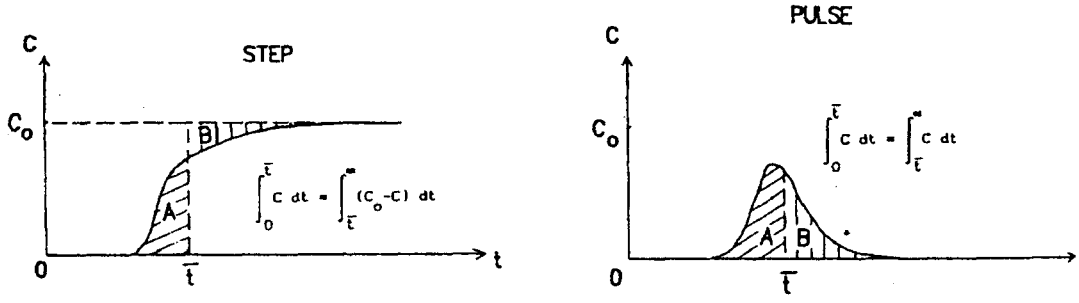

图2　步和脉冲输入BTC确定平均穿透时间(引自Leij 1989)

Fig.2　Determination of the mean breakthrough time based on BTC's with step and pulse type input.

(六)土柱截获(holdup)法

对步输入的BTC分析,有一个有用的土柱截获H(column holdup),可用于确定R,进而推求CEC。

柱截获定义式为[22]:

$$H=\frac{V}{L}\int_0^{\infty}(1-C/C_0)dt \qquad (12)$$

C是出流置换溶质浓度。由定义式可知,H是流出土柱的驻留溶质总量。在土柱完全被置换溶液饱和情况下($t\to\infty$),H是$t=0$时土柱中存在的溶质总量。截获可很容易由BTC得到,R和H的关系由CDE的已知解析解建立,H与R的关系式为[34]:

$$R=\begin{cases} H & A-1,\ A-4 \\ \dfrac{H}{1+D/VL} & A-2 \\ \dfrac{H}{[1-(1/P)-(e^P/P)]} & A-3 \end{cases} \qquad (13)$$

本法适于分析土柱出流浓度。基于A-2(半无限三类边界)和A-3(有限一类边界)的解析解求得的R受P值影响较大,尤其是P值较小时偏差极大。只有基于A-1(半无限一类边界)和A-4(有限三类边界)的解析解(适于分析土柱出流浓度)求得的R不受P值大小的影响,且因A-4在上下边界对浓度连续性的约定不一致,其解亦较A-1繁锁,故一般采用A-1解析解求得R。

该法确定的参数值是一个积分值,和BTC实际形状无关,因而忽视了BTC形状包含的信息。

(七)力矩法(Moment method)

力矩法是化学工程中分析BTC的常规方法,也被应用于水力学和土壤学,适用于分析脉冲输入条件下得到的BTC。该方法最先由Aris(1958)用于质流弥散问题。通过计算BTC的各种力矩,我们可以分析得到总溶质的量,平均穿透时间,扩展和滞后的程度等诸方面的信息。

1. 力矩定义 在某一给定点,一脉冲输入溶质的浓度分布C(x,t)的P阶时间力矩[8]:

$$m_p=\int_0^{\infty}t^pC(x,t)dt \qquad p=0,1,2\cdots\cdots \qquad (14)$$

浓度分布的一阶,二阶,三阶和四阶力矩可分别用来表征BTC的平均穿透时间,方差,偏斜度(Skewness),峰态(Kurtosis)。力矩也可用来表征浓度的空间分布[14]。

由时间力矩,可以得到绝对力矩和中心力矩:

$$u_p'(x)=\frac{m_p(x)}{m_0(x)}=\frac{\int_0^{\infty}t^pC(x,t)dt}{\int_0^{\infty}C(x,t)dt} \qquad (15)$$

$$u_p(x)=\frac{1}{m_0(x)}\int_0^{\infty}(t-u_1'(x))^pC(x,t)dt \qquad (16)$$

一阶绝对力矩$u_1'(x)$代表脉冲在土柱x处的平均穿透时间。前已述及,R的有效值可由溶质和溶剂在土柱中的平均驻留时间的比值确定。

对长为L的土柱上的一随机脉冲[22],

$$R=\frac{(u_1'(L)-u_1'(0))_{solute}}{(u_1'(L)-u_1'(0))_{solvent}} \qquad (17)$$

图1表明，$u_1'(0)=to/2$（溶质和溶剂）；因溶剂的平均驻留时间由平均孔隙水流速确定；上式的分母等于L/Vo，基于此，(17)式未知项为$u_1'(L)$，这可通过式(14)和(15)由BTC求得。

BTC作为无量纲时间T（淋洗过土柱的孔隙体积数）的函数时，P阶力矩定义为[21]：

$$M_p=\int_0^{\infty}T^pC(X,T)dT \quad p=0,1,2\cdots\cdots \tag{18}$$

用M_p替换m_p，由(15)，(17)可得如下表达式[22]：

$$R=\frac{M_1}{M_0}-\frac{T_0}{2} \tag{19}$$

其中，脉冲长用孔隙体积数To表示。

二阶中心力矩$u_2(x)$是平均脉冲扩展的量度[21]：

$$u_2(x)=\frac{1}{m_0}\int_0^{\infty}(t-u_1')^2C(x,t)dt \tag{20}$$

$$u_2(x)=u_2'-(u_1')^2 \tag{21}$$

通过实验BTC的力矩确定运移参数D*，V*和R首先要确定运移方程的理论力矩。

由方程解析解得到理论力矩$u_1'(x)$和$u_2(x)$，令理论力矩等于实验力矩，在V已知情况下可得D和R，在基质的两点x_1，x_2间的阻滞和扩展由下式表征[21]：

$$u_1'(x_2)-u_1'(x_1)=(x_2-x_1)\frac{R}{V} \tag{22}$$

$$u_2(x_2)-u_2(x_1)=(x_2-x_1)\frac{2DR^2}{V^3} \tag{23}$$

由式(22)(23)可方便地求得R和D。

2. 理论力矩的确定　运移方程求解在Laplace域内较时空域容易，因而确定理论BTC用Laplace 域内浓度分布$\bar{C}(X,S)$。Aris(1958)提出，在Laplace域内，由浓度解$\bar{C}(X,S)$确定时间力矩的方法。

对一个Laplace域内的理论BTC，其浓度分布的P阶力矩为[8]：

$$m_p=(-1)^p\lim_{s\to 0}\left[\frac{d^p}{ds^p}\bar{C}(X,S)\right] \quad p=0,1,2\cdots\cdots \tag{24}$$

$\bar{C}(X,S)$由描述运移的数学模型确定，并不限于CDE，由于$\bar{C}(X,S)$比$C(X,t)$更易获得，对复杂的模型，用力矩法确定运移参数是很方便的[35]。特定模型的参数可通过足够数量的实测力矩（方程(14)确定）和理论力矩（方程(24)确定）等价关系确定。

对陕西四种土壤中离子交换和运移的模拟研究（马北雁，1995）表明：虽然力矩法在分析具有强烈扩展的BTC时，会出现准确性差的现象，而且最佳结果的获得需确定溶质流向上的数点。但它的优点是对模型的依赖性不强，确定运移参数时不会出现解不唯一现象，而且对溶质浓度的时空分布有直观的描述和分析。借助力矩法，BTC的特征可以得到清晰的描述，尤其是对BTC方差分配的分析，在研究非线性交换离子的运移时，显得尤为有效。同时，也可扩展到其他运移模型，并不限于CDE。因而，力矩法将是应用于土壤反应性溶质运移研究的一种有前途的方法。Leij(1991)亦有类似的结论[24]。

（八）诸方法对BTC的要求

斜率法和试错法对BTC的要求不高，适于分析BTC不是很精确的情况，诸如只有少量数据点，数据点比较分散，或严重偏重S型等。其余诸法则适于分析精确的BTC。

诸法因基于不同的解析解，故同一实验数据用不同方法拟合参数会有不同结果，特别是P值

较小时。只有在土柱P值大于20时，参数对方法的依赖性才降低。因此，在实验过程中，对具有相对较窄孔径分布(pore-size distribution)的均质土柱，实验土柱至少应10～15厘米长；对具有相对较宽孔径分布的未扰动，团聚或其他土壤，实验土柱至少应30～50厘米长。如果实验的目的仅仅是确定R，或线性分布系数K时，允许使用短土柱，但能采用的参数拟合的方法仅限于分析出流浓度的方法。

三、结 语

描述反应性溶质运移，需确定阻滞因子R，它的值是固、液相相互作用的定量，由吸附相和液相的溶质浓度决定。在以往的一些文献中，对弥散系统D的确定给予了足够的重视，但都假定Fick弥散条件，在很多情况下，这一假定不成立；即使成立，也隐含有弥散并不改变溶质平均置换的条件[22]。R可强烈影响溶质平均置换，因而在预报溶质峰位置时，R比D更重要。

Persaud and Wierenga(1982)及其它一些学者已经证明，交换等温线的斜率随不同浓度变化，从而改变R的值[29]。但实验确定交换等温线工作繁难[15,16,23]，并且对非线性交换，运移方程的解析解非常复杂。因而尽管不能代表实际情况[31]，简便起见，仍然假定线性交换。对许多问题，在整个浓度范围内，视R为常数仍然得到相当好的预报[36]。虽然D也受非线性交换影响，但影响的大小尚无报导[21]。

确定D和R的方法基于相对简单的解析解，图形方法，或用理论模型拟合实验数据。诸如最小平方和(Least sum of squares)和最大似然(Maximum-likelihood)等统计参数估计技术已经很普遍使用[19]。简单的确定型方法作为一种良好的替代方法，诸如Rifai等(1956)提出由置换达到一个孔隙体积时BTC的斜率估计D(Elprince and Day 1977; Bear 1979)，以及当BTC可由正态分布(Levenspie and Smith 1957; Fried and Combarnous, 1971; Bear 1979)和对数分布(Rose and Passioura 1971)估计时，在V／D值较大的情况下获得D的估计[31]。这些确定性方法是在V已知情况下估计D，诸学者已提出由BTC数据同时估计两个或多个参数的方法[28]。Jury and Sposito (1985)提出三种方法(最小平方和，最大似然，力矩法)[17]；Yamaguchi等(1989)提出两种方法同时估计V和D(斜率法和第一项法)[38]；Van Genuchten and Wierenga (1986)提出5种方法[34]。实际应用中，曲线拟合技术特别流行，但正如Parker and Van Genuchten(1984)指出，用理论解拟合实验浓度剖面时，如未知因子过多，会引起解不唯一问题。另外，仅靠曲线拟合并不能证明模型的正确性。

通常用于化学工程中实验BTC分析的方法力矩法(Razavi et al., 1978)也被用于水力学(GUVEN et al., 1984)和土壤科学[22]。D和R值可直接用BTC的力矩来确定。力矩法最先由Aris (1958)用于质流－弥散问题。通过BTC的各种力矩可获得溶质总量，平均穿透时间，扩展和尾部的程度等信息。Aris(1958)给出了在Laplace域内运移方程的解析解如何被用于获得这些理论力矩。在Laplace域内解析解较固定时空域内解析解更容易求得。这些理论力矩使得D和R可从溶质运移结果中求得。

综上所述，各种参数的确定方法都是基于CDE的正确性，且都是在假定线性吸附或交换条件。田间条件的时空变异性，吸附交换的非线性及动力学特征使得上述方法的局限性显得尤为突出。为更有效地模拟反应性溶质的运移，各种新模型和参数确定方法的提出亦将是溶质运移研究的迫切问题之一。

参 考 文 献

1 马北雁，张一平，1994：土壤反应性溶质运移模拟研究进展。现代土壤科学研究，中国农业科技出版社，238～242。

2 王福利，1991：用数值模拟方法研究土壤盐分动态规律。水利学报。9：1～9。

3 王全九，1993：土壤溶质迁移特性的研究。水土保持学报，7(2)：10～15。

4 史海滨等，1992：盐渍土溶质迁移模型与数值方法研究。土壤资源的特性与利用，北京农业大学出版社，55～59。

5 赵其国，1995：为跨世纪土壤学的发展作出新贡献—第十五届国际土壤学会会议综述。土壤学报，32(1)：1～13。

6 隋红建等，1992：土壤溶质运移的数学模拟研究—现状及展望。土壤学进展，5：1～7。

7 雷志栋等，1987：土壤水动力学。清华大学出版社。

8 Aris R, 1958: On the dispersion of linear kinematic waves. Proc. Roy. Soc. A. 235:268～277.

9 Bond and Phillips, 1990a: Ion transport during unsteady water flow in an unsaturated clay soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 636～645.

10 Bond and Phillips, 1990c: Cation Exchange Isotherms Obtained with Batch and Miscible-Displacement Techniques. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:722～728.

11 Cho, 1985: Ionic transport in soil with ion-exchange reaction. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1379～1386.

12 Chen Wenlin et al., 1990: Modelling Multi-Ion Transport in Saturated Soil and Parameter Estimation. I: Theory Ⅱ Experimental. Z. Pflanzenernahr. Bodenk 153:167～173; 175～179.

13 Fried J J, and Combarnous M A 1971: Dispersion in porous media. Adv. Hydrosci. 7:169～282.

14 Goltz and Robert, 1987: Using the Method of Moments to Analyze Three dimensional diffusion-limited Solute Transport from Temporal and Spatial perspectives. Water Resour. Res. 23:1575～1585.

15 Gaston et al., 1990: Predicting Cation Mobility In Montmorillonitic Media Based on Exchange Selectivities of Montmorillonite. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:31～38.

16 Gaston et al., 1993: Predicting Cation Transport in Smectitic Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:307～310.

17 Jury and Sposito, 1985: Field calibration and validation of solute transport models for the unsaturated zone. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1331～1341.

18 Jury et al., 1986: A Transfer Function Model of Solute Transport through Soil 1. Fundamental Concepts. Water Resour. Res. 22:243～247.

19 Kool et al., 1989: On the estimation of cation exchange parameters from column displacement experiments. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1347～1355.

20 Lai S H and Jurinak J J, 1972: Cation adsorption in one dimensional flow through soils: A numerical solution. Water Resour. Res. 8:99～107.

21 Leij and Dane, 1992: Moment Method Applied to Solute Transport with Binarg and Ternary Exchange. Soil Sci. Soc. Am. J., 56(3):667～674.

22 Leij and Dane, 1989: Determination of transport parameters from step and pulse displacement of cations and anions. Dep. of Agronomy and Soils Ser. 135. Alabama Agric. Exp. Stn.

23 Leij and Dane 1990: Determination of exchange isotherms for modeling cation transport in soils. Soil Sci., 150(5):816～826.

24 Leij, 1991: Solute transport in a two-layer medium investigated with time moments. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1529～1535.

25 Miller and Benson, 1983: Simulation of solute transport in a chemcally reactive heterogeneous system. Model development and application. Water Resour. Res. 19:381～391.

26 Mansell et al., 1988: Simulated transport of multiple cations in soil using variable selectivity coefficients. Soil Sci. Soc. Am J. 52:1533～1540.

27 Mansell et al., 1993: Simulating Cation transport during water Flow in Soil: Two Approaches. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:3～9.

28 Parker and Van Genuchten, 1984: Determining transport parameters from laboratory and field tracer experiment Va. Agr. Exp. Stat. Bull. 83～84.

29 Persaud and Wierenga, 1982: A Differential model for one dimensional cation transport in discrete Homo-ionic ion-exchange media Soil Sci. Soc. Am. J. 46:482～490.

30 Rubin and James, 1973: Dispersion-affected transport of reacting solution in saturated porous media: Galerkin method applied

to equilibrium-controlled exchange in unidirectional steady water flow. Water Resour. Res. 9:1332～1356.

31 Razavi et al., 1978: Moment theory of breakthrough curves for fixed-bed adsorbers and reactors. Chem. Eng. J. 16:211～222.

32 Rainwater et al., 1987: Parameter estimation through groundwater tracer tests. Water Resour. Res. 23:1901～1911.

33 Selim, 1992: Modeling the transport and retention of inorganics in soils. Advances in Agronomy 47:142～201.

34 Van Genuchten and Wierenga, 1986: Solute dispersion coefficients and retardation factors. Madison, Wisconsion U.S.A.

35 Valocchi, 1985: Validity of the local equilibrium assumption for modeling sorbing solute transport throught homogeneous soils. Water Resour. Res. 21(6)808～820.

36 Valocchi, 1984: Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective K_d approach. Water Resour. Res. 20(4):499～503.

37 Valocchi et al., 1981: Transport of ion-exchange solutes in groundwater. Chromatographic theory and field simulations. Water Resour. Res. 17(5):1517～1527.

38 Yamaguchi et al., 1989: Using breakthrough curves for parameter estimation in the convection-dispersion model of solute transport. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1635～16.

DETERMINATION OF TRANSPORT PARAMETER FROM BREAKTHROUGH CURVE (BTC)

Ma Beiyan

(Guangdong Inst. of Eco-envir. and Soil Sci. Guangzhou 510650)

Zhang Yiping

(Northwestern Agricultural University, Shaanxi, Yangling 712100)

Summary

Knowledge of nutrient and pollutant ions transport is important from an agricultural and an environmental point of view. With the developing of various kinds of model, the determination of transport parameter became the key problem remained. This article summarizes methods of determination of transport parameter from BTC: Trail and Error, Slope Method, Statistic Property Method, the Least-squares Inversion Method, Graphic Method, Holdup Method, Moment Method.

Key Words BTC Transport parameter Method of determination.