

土壤中溶质运移模拟的理论与应用*

许秀元 陈同斌

(中国科学院地理研究所 北京 100101)

摘 要 可溶性化学物质在土壤中的运移和分布一般可以反映出多孔介质中溶质随着水分运(流)动的规律。文中系统地回顾了近二十年来土壤中溶质运动理论的发展和有关模型的应用概况,以期对地下水污染、海水入侵、水盐运动等溶质运移模拟的理论和应用问题进行较全面的分析;讨论了水动力学弥散、宏观弥散、层状介质中的弥散、多组分溶质运移和非饱和带中溶质运移等问题,以及描述土壤中溶质迁移的主要模型和模拟方法。

关键词 土壤 溶质运移 模拟

分 类 中图法 S152.7

土壤中溶质运动是自然界多孔介质中溶质运移的一种最常见现象。多年来,人们一直都在致力于土壤中溶质运移(尤其是盐分运动)理论及模型的应用研究。尤其是近年来,水盐运动、土壤中养分和污染物迁移、地下水污染,已成为土壤溶质运移理论应用较多,也较活跃的研究领域。

早在五六十年代,国外就进行了大量有关水盐运动的实验与理论研究。我国从 80 年代初开始起步,早期做过这方面工作的有石元春、贾大林等^[1],80 年代后期张蔚榛等将数值模型应用于区域水盐预测预报中,使我国区域水盐运动的研究^[6]进入一个新的阶段,同时在地下水污染方面也做了不少的工作^[2~4],而国外在此方面的研究较我国更早、更深入广泛^[1,5]。为了对这方面的研究进行比较全面的总结,本文回顾了近二十年来土壤多孔介质中溶质运移(尤其是土壤中的水盐运动)理论的进展。

1 土壤中溶质运移的理论问题

1.1 水动力弥散问题

早在 1805 年, Fick 就提出了分子扩散定律。1905 年, Slichter 报道了土壤中溶质并不是以相同的速度运移的现象^[1,5]。此后,人们逐渐提出并逐步形成了溶质运移的基本理论——水动力弥散理论。一般情况下,水动力弥散是由于质点的热动力作用和因流体对溶质分子造成的机械混合作用而产生的,即溶质在孔隙介质中的分子扩散和对流弥散共同作用的结果。分子扩散是人们所熟知的;而对流的弥散,主要是纯力学作用的结果,故亦称为机械弥散。由于孔隙系统的存在,使得流体的微观速度在孔隙的分布上无论其大小还是方

* 国家自然科学基金资助项目 (49671003)。

收稿日期: 1997-03-10, 收到修改稿日期: 1997-06-03

向都不均一。这主要有三方面的原因:一是由于流体的粘滞性使得孔隙通道轴处的流速大,而靠近通道壁处的流速小;二是由于通道口径大小不匀一,引起通道轴的最大流速之间的差异;三是由于固体颗粒的切割阻挡,流线相对平均流动方向产生起伏,使流体质点的实际运动发生弯曲。

Bear 将水动力弥散理论归属于可溶混流体的驱替理论^[5]。他总结了弥散机理和确定各种参数的研究方法。他将研究方法主要归纳为简化模型法和统计法。

第一种方法是将实际的多孔介质用一个假想的、大大简化了的模型来代替,模型中发生的弥散现象可以用精确的数学方法来描述。其中,比较简单的数学分析模型是 Tabor (1953) 提出的毛细管模型。在模型中, Tabor 假设在半径为 R 的直毛细管中的一种流体可被另一种可溶混流体所驱替,所得到的纵向弥散系数的理论表达式为

$$D_L = \left[\frac{R}{48D_d} \right] \bar{V} \quad (1)$$

式中 D_L 为纵向弥散系数; D_d 为分子扩散系数; $\bar{V}$ 为毛细管内的平均速度。

上式的优点在于,它比较好地解释了纵向弥散系数与速度的关系,其缺点是模型无法解释横向弥散系数。

第二种方法则主要是利用统计理论来进行研究。在基于随机统计理论的基础上, Bear 得到了机械系数的表达式:

$$D_{ij} = \overline{y_{ij(0)} V_{i(0)} V_{j(0)} t_0} \quad \text{当 } t \geq t_0 \text{ 时} \quad (2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \overline{y_{ij(0)} V_{i(0)} V_{j(0)} t_0} \quad \text{当 } t \leq t_0 \text{ 时} \quad (3)$$

式中 D_{ij} 为弥散系数张量; $V_{i(0)}$ 、 $V_{j(0)}$ 为质点瞬时速度相对平均速度在 i, j 方向上的偏移,是速度向量 $V(t)$ 在 i, j 方向上的分量; $y_{ij(t)}$ 为 $V_{i(t)}$ 、 $V_{j(t)}$ 的相关函数,它是一个平稳的随机函数; $t_0 = \int_0^\infty y_{ij(t)} dt$, 为自相关时间; $y_{ij(t)}$ 为 t 时刻的速度 V_i 和 $(t+0)$ 时刻的速度 V_j 之间的相关系数。

后来,有许多学者在(2)和(3)式的基础上利用一维随机游动理论建立了相应的弥散机理的数学解释。其中比较有代表性是 Bear^[5]引入的表征体元的概念,采用空间平均化的方法,并基于 Bear-Bachmat 模型导出了弥散系数的表达式:

$$D_{ij} = V_i V_j \overline{(\text{div} V_a)^{-1}} \quad (4)$$

式中 V_a 为溶质 a 组分的速度。

通过简化后, Bear 给出了忽略分子扩散时的弥散系数表达式:

$$D_{ij} = \alpha_r \bar{V} \delta_{ij} + (\alpha_r - \alpha_r) \frac{\bar{V}_i \bar{V}_j}{V} \quad (5)$$

式中 δ_{ij} 为 Kronecker- δ 记号; α_r 、 α_r 分别为介质纵向及横向弥散度^[11]。

后来,许多学者在研究中都把(5)式作为通用的表达式使用。

1.2 宏观弥散问题

随着水动力弥散研究领域的扩大,人们又发现,不管采用何种形式的弥散系数表达式,野外测得的弥散参数值常常比室内测定结果大几个甚至十几个数量级,因此,有人称之为依赖于规模的弥散参数。这使得小规模实验中得到的弥散参数无法应用于较大尺度的区域

预报。严格地说, 对于不同规模上的弥散参数的物理意义至今也并不是十分清楚, 因而有人对水动力弥散方程的计算结果仍表示怀疑。因此, 关于弥散系数和弥散度的确切含义等基本理论问题仍需深入研究。

Pickens^[7]曾得到如下表达式, 并用来描述宏观弥散问题

$$\alpha^2 = 2 \int \bar{x} dx = 2 \int (\bar{x}) dx \quad (6)$$

式中 $\alpha = \int \bar{x} dx$, 为弥散度函数; $\bar{x}$ 为平均距离; α^2 为溶质空间分布的方差。

另外, Gupta^[8]、Eusworth^[9,10]、韩再生^[11]等学者亦进行过这方面的研究。

1.3 层状介质中的弥散问题

在实际情况下, 构成土壤的多孔介质的渗透速率通常都是不均匀的。尤其是当土壤剖面由不同渗透速率的若干薄层组成时, 就需要研究层状介质中的溶质运移问题。

Skopp^[12]将层状介质中的充水层分为两层, 两层中的水都是可动的, 都存在水动力弥散作用, 相互之间存在溶质交换。表征两者的方程可分别表示为:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = D_A \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - V_A \frac{\partial A}{\partial x} - L(A - B)/(\theta_A) \quad (7)$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = D_B \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} - V_B \frac{\partial B}{\partial x} - L(B - A)/(\theta_B) \quad (8)$$

式中 A 、 B 分别代表两层介质中溶液的溶质浓度; D_A 、 D_B 和 V_A 、 V_B 分别对应溶质 A 和 B 的弥散系数和速度; L 为质量交换系数。

Duijin^[13]在研究双层介质的水动力弥散问题时, 设定流动是同方向的, 在流动方向上存在三个分区:

$$\begin{aligned} \text{a 区, 充分混合区: } C(x, z, t) &= 1 & \text{当 } x \leq \frac{V_2}{R_2} t \text{ 时} \\ \text{b 区, 过渡区: } C(x, z, t) &= g(x, z, t) & \text{当 } \frac{V_2}{R_2} t \leq x \leq \frac{V_1}{R_1} t \text{ 时} \\ \text{c 区, 尚未混合区: } C(x, z, t) &= 0 & \text{当 } x \geq \frac{V_1}{R_1} t \text{ 时} \end{aligned} \quad (9)$$

式中 V_1 、 V_2 为两层渗透介质中的流体渗透速率 (假设 $V_1 > V_2$); R_1 、 R_2 是对应的介质吸附延滞因子, x 为介质中流体的流动方向, 取为横坐标; z 为纵坐标; t 为时间; $g(x, z, t)$ 为待求的溶质浓度函数。

可以认为, Skopp 的模型实际上是求解 Duijin 分区中的 (b) 区。

孔隙-裂隙模型是一种特殊的、双层介质的水动力弥散模型。Sudicky^[14,15]研究了在孔隙-裂隙模型中存在非活性和活性溶质两种情形下穿透曲线的变化特征。Tang 和 Aral^[16,17]研究了二维条件下的孔隙-裂隙介质中的水动力弥散问题, 其研究的基本理论基础是: 孔隙含水层中存在纵向和横向的二维弥散, 而在弱透水层中仅存在横向的一维弥散。在两种介质中, 都存在一阶动力延迟。有关孔隙-裂隙模型的研究目前还只是刚刚起步, 而且涉及到的对象主要是饱和流^[18]。

1.4 多组分溶质运移

研究多组分溶质运移的理论基础是质量守恒和水动力弥散理论。Bear^[19]在 Valocchi 等人^[20]的基础上探讨了非稳定非饱和流中的多种离子运移问题, 他给出了描述组分 i 运动的

方程为:

$$\begin{aligned}
 (\theta_i) \frac{\partial C_i}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) u_{q_i} \frac{\partial C_i}{\partial z} + (\rho/q_i) \sum_{j=i} h_{ij} \frac{\partial S_j}{\partial t} \\
 q_i &= 1 + \frac{1}{uS_i} \sum_{j=i} Y_j S_j \\
 h_{ij} &= 1 + \frac{1}{Y_{C_i}} \sum_{j=i} Y_j S_j \\
 h_{ij} &= \frac{S_i}{C_i} \\
 R_i &= 1 + (\rho/\theta) \frac{h_{ii}}{q_i}
 \end{aligned} \quad (10)$$

式中 Y_i, Y_j 为组分 i 和 j 的化合价; S_i, S_j 为组分 i 和 j 的相互转化量; ρ 为流体溶液的密度; θ 为含水量; u 为达西速度。

土壤中多组分溶质运移的问题涉及到化学、热力学及土壤物理学等众多研究领域。目前, 国外这方面的研究也只是刚刚开始, 国内尚未见有关研究报道。

1.5 潜水和非饱和带中的溶质运移问题

这部分土层位于地表, 与人类活动的关系较为密切。由于该土层中水分的动态变化较大, 使得研究工作的难度也较大。对非饱和带的研究, 目前仍处于探索之中。前苏联学者在水盐运动的理论及应用研究方面有着瞩目的成就。B.M. 鲍罗夫斯基^[21]系统地总结了前苏联在水盐运动方面的研究进展, 提出了许多新的观点, 如能量系统方法。他建立了一个“(分层)土壤-潜水”系统中盐分运移的数学模型, 研究了毛管活动层、弱透水层及透水层的潜水区水盐运移规律, 并认为横向扩散系数对渗透速率的依赖程度要比纵向扩散系数对渗透速率的依赖程度小, 并给出了模型的解析解。Hassan^[22]解析了存在地下水位时土壤非饱和带中水盐运动的数学模型。Smiles^[23]认为, 非饱和带的水分运动本身就十分难处理, 研究与之相关的溶质运移就更复杂。他分别通过室内及野外实验研究了存在吸附及不动水体时非饱和带中的解析解。Bresler^[42]系统总结了考虑作物吸附等因素时非饱和带的水盐运动。与国外的研究相比较, 虽然国内研究还存在较大的差距, 但石元春^[11]、王亚东等^[24]、叶自桐^[25]、杨金忠^[26]和黄军琪^[27]等人已做过大量富有成效的研究工作。

2 溶质运移模拟的应用现状

2.1 物理模拟

如同水流问题一样, 物理模拟亦是采用相似准则, 通过建立实体来模拟所要研究的问题。严格地说, 一般的模拟实验(包括参数的测定实验)都属于物理模拟。

2.2 数学模拟

2.2.1 确定性数学模型 以一维的情形为例, 主要有以下几种形式:

(1) 对流弥散型的模型。这是最常见、最基本的描述溶质运移的数学模型^[3, 5, 11, 28]。其中, 研究得最为透彻的是一维饱和流条件下的对流弥散方程。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_A \frac{\partial C}{\partial x} \quad (11)$$

(2) 考虑固相吸附时溶质运移的数学模型。这种情形下的数学方程一般可表述为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\rho}{\theta} \frac{\partial S}{\partial t} - D \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} \quad (12)$$

其中 θ 为含水量; S 为固相的吸附量 (mm^{-1}); ρ 为固相的容重 ($\text{m} \cdot \text{L}^{-3}$)

根据吸附量 S 与溶质浓度 C 的关系式, 一般分为平衡吸附和动态吸附, 其中以平衡吸附较为常用。在动态吸附中, 应用较多的是一级反应动力学方程^[29], 也有人采用 Elovich 方程和 Frundilich 方程等多级及非线性的动力学吸附方程。Barnes^[30]曾借鉴化学上的层析理论, 既注意到描述溶质运移和水分运动的偏微分方程的相似性, 又考虑了固相对溶质的非线性吸附作用。

考虑吸附的数学模拟, 国内外进行的研究都不少。但由于方程 (12) 计算时太复杂, 因此应用中常对吸附项进行简化处理 (如采用前面提及的引入吸附延滞因子系数)。

(3) 考虑不动水体存在时的数学模型。Bear^[5]、杨金忠^[31, 32]、Bresler^[42]等认为, 在多孔介质中有一些充水孔隙是死孔隙, 其中所含的水分并不参与水流运动, 但其中的溶质则通过与可动水体中的溶质进行质量交换而参与溶质的运动。Bond 和 Wierenge^[33]研究了不动水体对稳定和非稳定流的影响。他们给出的方程为:

$$\frac{\partial \theta_m C_m}{\partial t} + \frac{\partial \theta_m C_m}{\partial t} = (\theta_m D) \frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} - \frac{\partial}{\partial x} (q C_m) \quad (13)$$

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (C_m - C_m) \quad (14)$$

式中 θ_m 、 θ_m 分别为可动水体和不动水体的含量; C_m 、 C_m 为可动水体与不动水体中的溶质浓度; α 为质量交换系数; q 为达西速度。他们的实验及分析结论认为: 不动水体的存在对稳定流的溶质运移有影响, 对非稳定流的溶质运移却没有影响。值得注意的是, 这和杨金忠^[31]、Bresler^[42]分别得出的结论相矛盾。

(4) 考虑源汇项时的溶质运移模型。一般将污染源的输入与输出、放射性衰变等作为源汇项带入方程。这只是一模拟溶质运移行为的简单处理^[3, 6]。

2.2.2 黑箱模型 Fricd 于 1975 年将黑箱方法应用于水质评价, 其数学表达式为^[6]:

$$S(t) = A e(t) \quad (15)$$

式中 A 为传递函数 (transfer function); $e(t)$ 为输入; $S(t)$ 为输出。

该模型并不涉及系统内部的状态和机制, 而仅关心水盐运动的输出效应。它对复杂大体系中水盐运动的研究有一定的参考价值。

2.2.3 随机统计模型 该模型认为, 当溶质质点从某一点进入多孔介质中时, 由于各种随机因素的影响, 溶质质点不能完全按照原来的流向轨迹运动, 从而发生偏离 (相当于横向弥散); 另一方面, 溶质质点在介质孔隙中的运动虽然在主体上存在着沿流向运动的趋势, 但在运动的时间和方向上存在着随机的趋势。该理论比较新颖, 可以很好地描述溶质运移过程中的“分支—合并”所引起的渗透分散, 对研究田间试验中的区域水动力弥散和空间变异性等问题均有独特的优势。有关这方面的文献可参见 Gupta^[34]、Sardin^[35]、Neuman^[36]等人的报道, 可以预料的是, 统计随机理论在多孔介质溶质运移研究中的应用前景将是十分广阔的。

2.3 溶质运移的数值模拟方法

除了理想化的简单数学模型 (11) 式能够给出解析解外, 一般的溶质运移方程都无法用解析解来表达。即使能够得到解析解, 其求解过程也相当复杂, 因此无法实用。目前关于溶质运移方程的数值解法归纳起来主要可分为两类, 其一是欧拉观点, 其二是拉格朗日观点。当然, 也有将二者结合起来的第三种观点。欧拉观点以固定不动的坐标系为参考系, 而拉格朗日观点以跟随流体质点运动的坐标为参考系。关于溶质运移的数值模拟方法主要有: 有限差分法, 有限元法^[3, 37, 38], 二维有限分析数值解^[39], 特征有限元法^[3, 40], 沿流线跟踪法^[41]等等。

关于溶质运移的数值解法主要涉及到对流弥散方程的求解, 现有的数值方法各有其优点, 有关文献^[3, 6]对各种数值方法均有评述。事实上, 目前人们之所以热衷于探讨各种数值解, 其目的是在于努力提高数学模型的精度、解的稳定性及收敛性。

3 结语

通过回顾和总结现有的研究进展, 作者认为, 在多孔介质溶质运移研究中, 水动力弥散系数的理论分析和宏观弥散等五个问题是多孔介质溶质运移理论的关键, 也是今后仍值得探讨的研究领域。同时, 在深入揭示现象本质的基础上, 发展并应用新的、具有生命力的理论模型, 如统计模型、确定性系统模型等, 也是未来的发展趋势。

参 考 文 献

- 1 石元春 盐渍土的水盐运动 北京 北京农业大学出版社, 1986
- 2 薛禹群, 吴吉春, 谢春红 越流含水层系统地下水污染数值模拟 地质学报, 1997, 71(2) 186~ 192
- 3 王秉忱等 地下水污染 地下水模拟方法 北京 北京师范学院出版社, 1985
- 4 钱孝星 用特征有限元法预测大运河对某市潜水污染的影响 环境科学学报, 1994, 14(1) 24~ 31
- 5 Bear J 著 多孔介质流体动力学 北京 中国建筑工业出版社, 1983
- 6 戚隆溪, 陈启生, 逢春浩 土壤盐渍化的监测和预报研究 土壤学报, 1997, 34(2) 189~ 199
- 7 Pickens J F and Grisak G E. Modeling of scale- dependent dispersion in hydrologic system. Water Resources Research, 1981, 17(4) 1701~ 1711
- 8 Gupta S P and Greenkorn R A. Determination of nonlinear absorption parameters for flow in porous media Water Resources Research, 1974, 10(4) 339~ 346
- 9 Ellsworth T R et al A three- dimensional field study of solute transport through unsaturated layered porous media—— I. Methodology, mass recovery and mean transport Water Resources Research, 1991, 27(5) 951~ 965
- 10 Ellsworth T R et al A three- dimensional field study of solute transport through unsaturated layered porous media—— II. Characterization of vertical dispersion Water Resources Research, 1991, 27(5) 967~ 981
- 11 韩再生 滨海含水层海水入侵研究——以戴河、洋河为例 [博士论文] 北京 中国地质大学, 1990
- 12 Skopp J et al Solute movement in structured soils Two- region model with small interaction Soil Sci Soc Am. J., 1981, 45 837~ 842
- 13 Duijin C J van and Van der Zee S E A T M. Solute transport parallel to interface separating two different porous materials Water Resources Research, 1986, 22(6) 1779~ 1786
- 14 Sudicky E A and Gillham R W et al Experimental investigation of solute transport in stratified porous media—— I.

- The reactive case *Water Resources Research*, 1985, **21**(7) 1035~ 1041
- 15 Sudicky E A and Gillham R W et al Experimental investigation of solute transport in stratified porous media—— II. The nonreactive case *Water Resources Research*, 1985, **21**(7) 1043~ 1056
- 16 Tang Y and A ra l M M. Contaminant transport in layered porous media—— I. General solution *Water Resources Research*, 1992, **28**(5) 1389~ 1397
- 17 Tang Y and A ra l M M. Contaminant transport in layered porous media—— II. Applications *Water Resources Research*, 1992, **28**(5) 1399~ 1406
- 18 Tang D H and Frind E O et al Contaminant transport in fractured porous media: analytical solution for a single fracture *Water Resources Research*, 1981, **17**(3) 555~ 564
- 19 Mansell R S and Bloom S A et al Simulation cation transport during unsteady, unsaturated water flow in sand soil *Soil Sci* , 1990, **150**(4) 730~ 744
- 20 Valocchi A J et al Solute transport *Water Resources Research*, 1981, **17**(5) 1517~ 1527
- 21 B. M. 鲍罗夫斯基著 盐渍土改良的数量研究法 北京 科学出版社, 1987
- 22 Hassan F A. and Ghaibeh A Sh. Evaporation and salt movement in soils in the presence of water table *Soil Sci Soc Am. J.* , 1977, **41** 470~ 478
- 23 Smiles D E and Philip J R. Solute transport duaring absorption of water by soil: laboratory studies and their practical implications *Soil Sci Soc Am. J.* , 1978, **42**(4) 537~ 544
- 24 王亚东, 胡毓骥 裸地蒸发过程中土壤盐分运移的实验及数值模拟研究 *灌溉排水*, 1992, **11**(1) 1~ 5
- 25 叶自桐 利用盐分迁移函数模型研究入渗条件下土层的水盐动态 *水利学报*, 1990 (2) 1~ 9
- 26 杨金忠 二维饱和-非饱和溶质运移实验研究 *水利学报*, 1989 (8) 55~ 61
- 27 黄军琪 潜水带水盐传输及其对土壤改良的意义 *水文地质工程地质*, 1985, 6
- 28 朱学愚, 谢春红 地下水运移模型 北京 中国建筑工业出版社, 1990
- 29 黄康乐 原状土等温吸附特性的研究 *灌溉排水*, 1987, **6**(3) 26~ 29
- 30 Barnes A C. Solute and water movement in unsaturated soils *Water Resources Research*, 1990, **26**(6) 1219~ 1234
- 31 杨金忠 一维饱和与非饱和水动力弥散系数的实验研究 *水利学报*, 1986 (3) 10~ 21
- 32 杨金忠 土壤非饱和纵向与横向弥散系数确定方法的研究 *水文地质工程地质论丛*(二), 1987
- 33 Bond W J and W ierenge R J. Immobile water during solute transport in unsaturated sand columns *Water Resources Research*, 1990, **26**(10) 2475~ 2481
- 34 Gupta V K. Fundamental problems in the stochastic convection- dispersion model of solute transport in aquifers and field soils *Water Resources Research*, 1986, **22**(1) 77~ 88
- 35 Sardin M and Schweich D. Modeling the nonequilibrium transport of linearly interacting solute in porous media: A review. *Water Resources Research*, 1991, **27**(9) 2287~ 2307
- 36 Neuman S. Enlerian Lagrangian theory of transport in space- time nonstationary velocity fields: exact nonlocal formalism by conditional moments and weak approximation *Water Resources Research*, 1993, **29**(3) 633~ 645
- 37 W. 金博士著 水环境数学模型 北京 中国建筑工业出版社, 1990
- 38 Sun N-Z and Yeh W W-G. A proposed upstream weight numerical method for simulating pollutant transport in groundwater *Water Resources Research*, 1983, **19**(6) 1489~ 1500
- 39 Huang J C et al Finite analytic numerical solution for two- dimensional groundwater solute transport *Water Resources Research*, 1985, **21**(9) 1354~ 1360
- 40 焦纠纷, 陈京春 求解二维水质模型特征矩形有限单元的改进 *水文地质工程地质论丛*, 1987
- 41 徐玉佩 地下水溶质运移数值计算的沿流线段追踪法 *水利学报*, 1986 (12) 38~ 47
- 42 Bresler E et al Sodine and sodic principles-dynamics-modeling New York: Springer-Verlay, 1980

SMULATION OF SOLUTE TRANSPORT IN SOILS ——THEORY AND APPLICATION

Xu Xiuyuan Chen Tongbin

(Institute of Geography, Chinese academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract

The transport and distribution of dissolved chemicals are influenced by water movement in the soil system. In order to understand the advances in underground water pollution, salt transport in salt-affected soils and salt accumulation in coast soils affected by seawaters, the studies of the past 2 decades on the theoretical development and practical applications of solute transport simulation in soil-water systems are reviewed. The theories and numerical simulations on dispersions, adsorption, uptake and transport of solutes in unsaturated and saturated soils are discussed in the presented paper.

Key words soils, solute transport, simulation

作 者 简 介

许秀元, 28岁, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤中溶质迁移模拟研究, 先后在《水利学报》等刊物发表论文近十篇。目前在美国纽约州立大学从事访问研究。