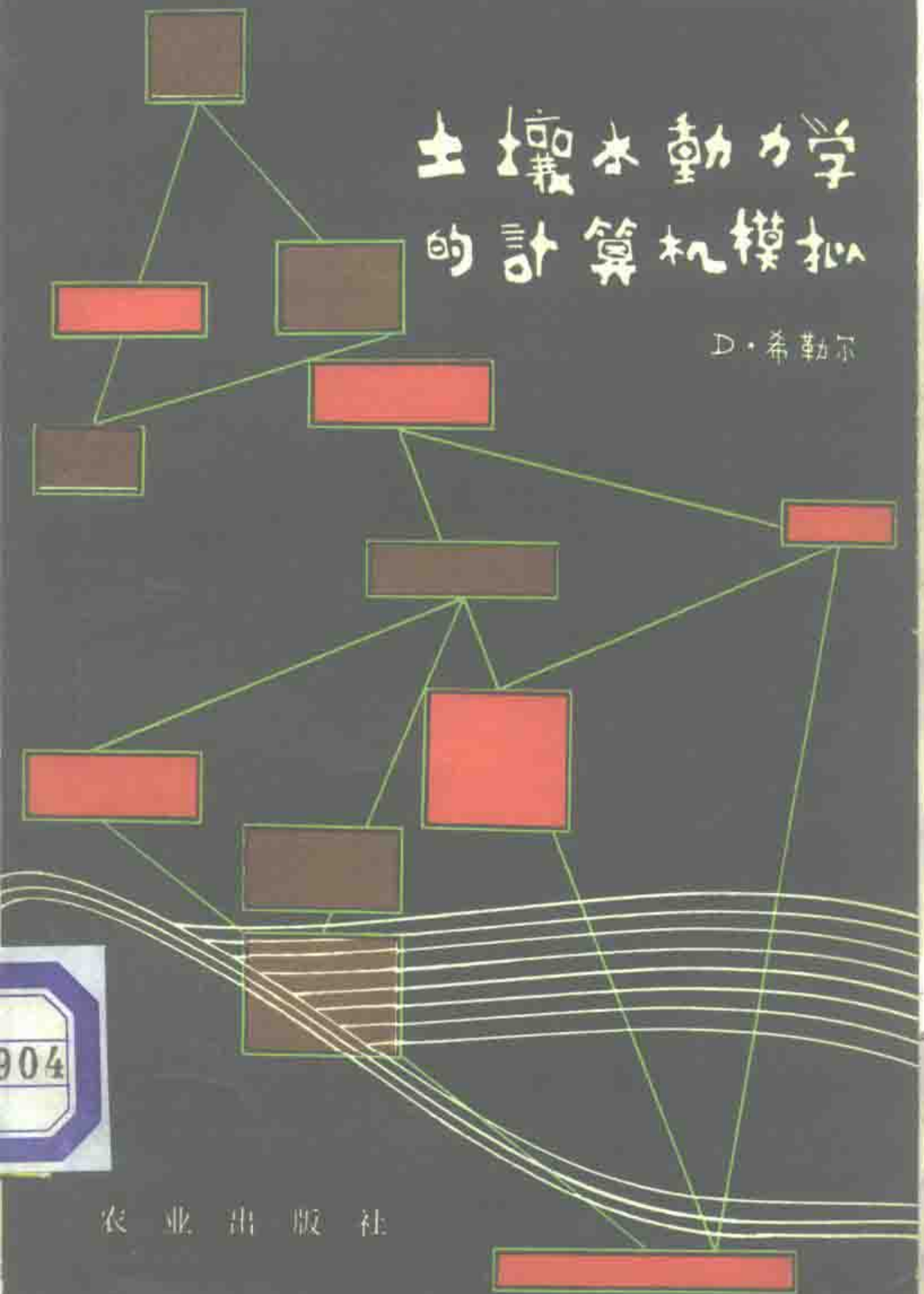


土壤水动力学的计算机模拟

D·希勒尔



904

农业出版社

土壤水动力学 的计算机模拟

D. 希勒尔 著

罗焕炎 金光炎 李鸿吉译

农业出版社

2463/13

D. Hillel Computer Simulation of Soil-Water Dynamics 1977

土壤水动力学的计算机模拟

D. 希勒尔 著

罗焕炎 金光炎 李鸿吉译

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 7.25 印张 127 千字

1979 年12 月第1 版 1979 年12 月北京第1 次印刷

印数 1—4,000册

统一书号 16144·1923 定价 0.73元

译 者 的 话

土壤水动力学的计算机模拟Computer Simulation of Soil-Water Dynamics, 作者丹尼·希勒尔(Daniel Hillel)是一位土壤物理学家。原书1977年由渥太华国际发展研究中心出版。

这是一本介绍电子计算机在农业上应用的书。在干旱、半干旱地区如何最有效地利用水土资源,在农田管理上如何有效地选择最优管理方案,这是涉及多因素、多学科的复杂课题。近年来借助高速计算机的模拟技术,对这些课题的探索才有一些进展。

本书对数学模拟的原理和方法作了简明的记述。全书加引言、后记共七部分。引言中介绍了模拟的基本原理,正文中介绍了五种有关土壤水的数学模型。前两种是讨论蒸发的;第三种是讨论土壤剖面蓄水的;第四种是讨论大气降水、土壤水、潜水关系的。这里作者建立了非饱和带与饱和带关系的数学模型,这对水文地质工作者是很有启发的;第五种模型专门讨论根系吸收理论,作者综合考虑了根系对环境的适应,根系的生长机能,便于最优的利用土壤水分和有用矿物成分。这五个数学

模型概括了土壤物理学家最关心的课题。书后附录了一百多篇文献，对进一步了解这方面问题也有一定参考价值。

土壤水动力学的计算机模拟仅有十来年的历史，它的发展很快。我们热切地希望本书的介绍能促进国内这方面工作的开展。

译者水平有限，一定会有不少缺点和错误，欢迎读者批评指正。

一九七八年十一月

目 录

序	(1)
引言 计算机模拟的基本原理	(4)
第一章 在变蒸发率条件下, 考虑滞后作用时 土壤水的等温蒸发	(32)
第二章 土壤水的非等温蒸发, 考虑土壤表面 反射率的影响	(61)
第三章 考虑土壤结构和层状剖面影响的水动 力学和休耕地土壤的蓄水	(86)
第四章 倾斜田地的水文学, 包括地表径流和 地下水流	(135)
第五章 根系对水分的吸收, 以及土壤剖面中 水和盐的共同运移	(163)
后记	(207)
参考文献	(210)

序

近几年来，由于人口增长和国民经济发展，需要努力增加农产品产量，这样对水土资源的利用大大地加强了，特别是在干旱和半干旱地区，水土资源利用方面压力很大。为了提高水土资源管理的水平，已经在田间采取了很多革新措施。但由于任务紧迫，有些工程师和开发者草率从事，不适当的灌溉、施肥、耕作和虫害防治，结果弊多利少。不经心的水土管理不仅浪费水和能量，并由于盐碱化和侵蚀使土质恶化，甚至造成严重的环境后果，而这只能在以后看出它的危害。农业和环境研究是要对所管理的复杂系统形成一个基本的认识，从而使所有可以控制的因素最优化，以便在不危害环境的条件下尽可能地达到高产。在半干旱地区，因为特别需要降雨和人工灌溉，因为调整水的管理制度和能源利用关系对农作物产量和生产成本有很大影响，加以地下水和地表水受污染的危险是长期存在的，所以一定要有切合实际的农业科学研究。

农业和环境研究的一些基本问题是，怎样在一个相互影响和相互依存的复杂系统中获得具体过程的认识，

而后又如何使这些认识完整起来，以便取得对这个系统的整个运转方式的全面理解。如果我们要把特定条件下的经验运用到别的地区和运用在不同的季节，那么这种完整的认识就更为重要。

近几年来，借助高速电子计算机、数学模型和模拟技术用于综合而定量地描述动态系统的特性，已得到发展（这里模拟这个术语是狭义的，表示数值模型的结构和运算）。计算机模拟的成功，能使看起来难以处理的复杂系统变得条理清楚而易于管理。在模型的设计、运算和试行的过程中，我们能了解复杂自然系统的工作情况，并能建立各种条件下未来性质的预测准则。

田间的自然过程，比如物理和物理-化学过程，是有一定速率的，这些速率与整个土壤系统、它们的组成以及各个部分的联系有关。这种系统的力学模型是建立在自然过程数学公式化的基础上的。这种模拟方法能用来分析土壤中的水分、溶液和能量的运移，也有助于分析各种气候条件下作物对土壤水分的利用。模型的计算结果能用来预测某些可控因素（如灌溉的频率和强度、水质、土壤表层条件等等）是怎样影响土壤水存贮和作物利用的。

本书的目的是建立模拟土壤物理过程的一些模型的方程式，并阐明从中得到的结果。主要是介绍作者近期的工作，也引用了起先驱作用的C. T. de Wit领导下的

荷兰小组及其他科学家的成果，很多都列在文献目录中了。

本书的主要对象是与土壤系统有关的农业和环境研究者（读者要有起码的微积分知识并最低限度地熟悉计算机程序）。书中较为注重理论研究而不是偏于纯经验讨论，亦考虑了少量的模拟的哲学原理，并阐述了实际应用方面的问题。

我们相信，任何研究工作的开始，最紧要的就是决定研究什么。我们大家都受到资金、人力的限制，当我们决定把它们用到特定的实验中，就不能从事也许是更有前途的其他方面。因此，我们应该预先调查某些对预见有用的线索，并准备好评价最终希望得到的资料的方法。作者希望鼓励学习有关土—作物—水方面的学生把模拟技术作为他们研究工作中的一个方向。作者并不想使读者认为本书所提出的模型是永远有效的，而是启发读者按自己的意图干得更好些。在科学中，特别是在模拟中，永远有效的提法是不确切的。

引 言

计算机模拟的基本原理*

A 系统的概念

本书研究的问题和土壤自然系统的动态物理属性的认识有关。我们采用了“系统”这个词，按说在这里它的意义该是明确的，其实不然。系统一词经常而不精确地用来指概念的多样性，对这种概念甚至于难以下具体的定义。这里所指的系统是客观世界的一部分，能以物理的或概念的边界来和周围环境相区别。例如动物是一个突出的实体，它有可识别的物理边界，通过能量和物质的交换，它与周围环境相互影响。我们所认定的边界通常是任意的（例如，我们可以就所研究的表层土壤与下层土壤之间定出一个边界，虽然下层土壤和表层土壤可以相同也可以不同），这是因为客观世界实质上是一个完整而连续的系统。但是，如果我们从中取出一部

* 用 simulation 表示数值模型的构成和运算，而用 modeling 表示较一般的模型。译文中注意到两者的差别。这里我们统译为“模拟”。——译者注

分并把它本身作为一个系统，我们必须有明确的准则来区别哪些是属于这个系统的内因，哪些是外因（即来自于系统之外的刺激或变动）。

系统的另一属性是，它是由相互影响的一些部分所组成。譬如，对于动物的器官，我们是按特定机能来识别它；在土壤-作物系统中，我们能区别土壤和作物，甚至对土壤本身，我们也能经常分出不同层次。一个系统的主要部分称为亚系统，而亚系统的基本部分称为成分。当然，成分、亚系统和系统的组成从来就不是绝对的，一个系统的最基本的部分通过分析反而成为一个复杂的亚系统。然而认定这些部分及其作用，最终还是要作为一个整体来管理。

长期以来，在科学研究中的主要趋势是注意那些可以孤立研究的个别现象或过程，为了了解系统的机制，仍要从这方面努力。但是，如果仅限于研究人为划定的系统中的各个孤立方面，就会忽略其它的重要事情（例如相互作用），也会使系统运转方式的概念过于简化。现在我们要把零散的有关系统的知识汇总，以便把系统作为整体而形成更广泛的概念。我们将用模型来完成它。

系统分析是一个术语，它把资料 and 理论按逻辑联系起来，包括把各种系统的属性概括到模型中，然后对这些模型进行严格试验，以便看它们是否合理并进一步改进，最终用来预测它们所代表的系统的将来属性。

B 模型的概念

诗人注视窗外，会觉得田野是那么明朗而沉静。但对环境科学家而言，田野这种系统是处于不停的变动状态，物质和能量不断转换和转移，这和一系列并发的物理、化学和生物变化过程有关。我们惊奇的是有那么多我们知道随时可以发生的过程和变化，可是在任何一瞬间，可能还会有更多的、我们感觉不到的过程。

我们的智力是有限的，要想对现实世界或其中所能感觉到的任何系统进行综合并确定其全貌，确实是太复杂了。因此，在讨论任一特别问题时，我们偏向于容易走的道路，设想系统比真实的要简单些，仅考虑与手中问题相关的那一方面。这样，我们有意地忽略了与当前问题无关的方面，从而使问题简化。

模型是简化的、易于确定、易于处理的相似表现形式。它可能是物理模型，比如检验空气动力学设计用的飞机模型；也可能是抽象模型，比如概念或数学模型。

在模拟中最根本的实践也许是人类语言的运用。假若一个事件只被一个人而没有被其他人观察到，那么观察者可用语言向听者有选择地传述所观察到的现象，于是听者就能以自己的想象来重演这个事件，并能近似地感觉到所发生的事件。

科学模型无疑是原始模型的很大引伸和改进，特别是在相关事件的定量化方面。不过所有模型和理论都是近似的，它们并不按明显的一对一的方式和所观察到的事实相对应。例如我们说热“流”，好象是流体一样，其实不然。但热流与流体的相似性可帮助我们掌握热的属性，有助于感觉它、认识它。流动现象使我们想起梯度，反映液体由高处向低处流动的自然趋势。这个概念转到热流中也很有用，并且与热流中某些重要的事实相当。

尽管如此，当一个模型一开始就太脱离现实（特别是超过本身限制的情况）就会引错方向，而必须修改或更换。在特定模型中，我们所忽略的那些复杂的特性，事实上并未消失。一旦确定了最重要因素的影响，迟早会发现，为了改进和概括我们的模型，还必须考虑次要因素的影响，而这样作是无止境的。我们对复杂系统的认识总是逐步接近的。

我们用一般术语所描述的那些原则特别适用于土壤物理学中的理论和方程。在不同的时间和对不同的目的，土壤物理学家把土壤同一堆球状颗粒相对比，或者与一束毛细管相比较，或作为一批静电电容的平行的胶质板，或作为弹塑性力学的连续介质；在另外一些情况下，他们假定土体在空间上是均一的，甚至是一维的。我们必须对这些理论采取分析态度，因为它们是从比较

简单的或“比较纯正的系统”借用过来的。有些学者把实质上复杂的系统用过于简单的理论来处理，这是容易犯错误的。相对其它学科而言，本门学科是在发展中，其研究工具变得更复杂而且能考虑过去土壤物理学家所忽略的事项。借助高速电子计算机就能描述不均一土壤介质的各种现象。本专著正是要说明这些情况。

C 数学模型

科学模型能很好地用简洁、客观、普遍和灵活的数学语言来表达。我们根据最有用的证据来建立一个描述系统属性的方程。其次，我们变换方程来预测系统在变换情况下的属性。

这样，我们不仅概括了系统的已知部分，而且也进入了未知领域。也就是说，我们去预测还未量测到的定量关系。然后，我们用实验来核对我们所预测的结果。如果符合的话，则我们有了一个工作模型；否则，须修改模型再试。因此，没有实验或不进行有计划的观测，理论是不能前进的。反之，没有理论的实验是不得要领的，效果也不好，因为难于摆脱一些无关而又紊乱的因素的干扰。

下面是几种模型的定义，这些模型并不一定是彼此排斥的。一个复杂的模型可以是若干模型连接而成。

经验模型是以观测到的变量之间定量关系为基础，而不深入到系统的函数或成因关系。把经验模型表示成方程式也许是最早和最原始的阶段。设想，十九世纪早期某个土壤物理学家在甲地注意到土壤温度与昼长有关，而另外一个学者在乙地观测到土壤温度与土壤含水量紧密相关，甚至他们同时代的人可能会在丙地假设它主要与土壤颜色有关，每个人都会对他自己的观察建立经验方程，但由于没有土壤能量平衡的知识，也就没有人能提出全面而普遍的模式，把所有这三种因素联系起来。

随机模型是指取决于随机性参数的一个或多个函数关系式，因而与概率分布有关，如在自然条件下，土壤水的季节性预测必须与降雨发生时间和降雨量的概率函数相关。

确定模型不是随机的，不考虑随机变量，有严格的关系，以完全肯定的形式由输入预测输出，如，当初始库容量以及输出率、输入率为已知时，就能肯定地计算所有时间的库容。

力学模型是以作用于模型内的已知机制为基础，如物理、化学的基本定理。这样，力学模型经常是次一级的确定模型。

解析模型是指模型中所有函数关系能以闭合的形式和固定的参数来表达。因此这些方程能用古典的解析数

学方法来求解。

数值模型是指用逐步数值算法来求解控制方程的一类模型，一般需用计算机。

连续性模型描述连续性过程，不同于包括非连续的或突变现象的离散模型。

动态模型描写与时间相关的过程（与静态的或时间不变系统相反）。自然，时间是单调向前不可逆的自变量。

D 计算机模拟的科学基础

自从远古以来，人类很想知道自然界是怎样发展过来的，并想预测它的未来。希腊哲学家曾用纯演绎法试图获得这个妄想的预测能力。他们以日常生活经验的相似性来寻求科学解释，同时以图解语言而不是以严格的逻辑分析来回答与知识理论有关的问题^[95]。

培根(1620)首先认识到把思维哲学作为预测未来的方法论的局限性。他认为，理性本身没有任何预测能力，它只有同观察结合起来，才能产生这种能力。进而言之，演绎逻辑必须用归纳逻辑来扩大，这样我们可以由一般推理到特殊，反之亦然。

以此为基础，培根曾说明由四个步骤组成的科学方法：1.对运动着的真实系统的观察；2.用公式来表达假说（数学模型），以便说明系统是怎样作用的；3.在假

说的基础上，预测系统属性（即得到数学模型的解）；
4. 进行实验以便检验模型预测的效果。

这些原则是大家都知道的，而读者会有疑问，为什么在这里还要重述它们。我们这样作是为了强调计算机模拟也要遵循这种科学方法，并没有其他的高招。在原则上，它与几个世纪以来所作的并没有什么不同，它仅作为一个强有力的工具而已。显微镜和望远镜起了扩大人类眼界的作用，而计算机能起到扩大智力的作用，以便很快地计算和记录瞬间现象。我们得强调一下，计算机绝不能代替人脑的想像或直觉等方面的作用。

E 状态相关系统的计算机模拟

建立模拟真实系统性质的数学模型，调整这些模型使之适用于计算机（模拟机、数字机、混合机）求解，以及研究这类模型的性质与实物性质的关系，以上这些就是计算机模拟的定义。特别地，本书把模拟定义为，对所描述动态系统，建立定量的数学模型，再作实验性的数值分析。

本书中所提出的动态模拟型式一般具有下列几个主要的部分：

外源变量为输入变量，与系统的内部状态无关。它们代表作用于系统的外因，并能引起内部变化。这些因