

第 I 部分 历史、理论和挑战

第 1 章 流域和景观管理概述

几十年来，流域模拟建模一直是科学家的领地中的一个重要工具。地方化的流域管理方法需要当地居民和流域管理人员熟悉这类工具。近期地方流域管理发展到了什么程度？本章首先简要回顾地方化流域管理的崛起，然后介绍流域管理委员会及其所提出的流域管理方案在当今社会中的作用。

1.1 地方化的流域管理

面向流域的管理方法日渐普及 我们经常可以听到流域分析、流域健康、流域协调发展、流域管理和流域委员会等诸如此类的名词。尽管按流域进行土地管理正在变得愈来愈普及 但流域管理作为一研究领域和土地管理的方法 几十年来一直是由科学家们大力推动和发展的。传统的土地管理通常按照历史上形成的行政区划进行 这些行政边界 多是分割不同的景观、流域以及生态系统的直线状界线。如果行政边界影响到生态过程时，有时从卫星照片上就能够清晰地看到直线边界两侧在管理上的差异。图 1-1 是得克萨斯州一处军事基地和私人土地之间的边界的卫星图片 图片中较暗的一半（西南部分）是军事基地中的林地 图片中较亮的一半（东北部分）是私人牧草地。有趣的是 因为两个区调查队在不同的时间完成各县国土调查 行政边界可能会在土壤图中清晰可见 由此造成土壤类型边界看起来并不是自然跨越各县边界。各个地区是通过不同机制自然联系在一起的。在大陆尺度上 气候和地形决定了多种生态分区 而每一类生态分区又由更小尺度上的不同格局的土地镶嵌体构成。水是所有生命必不可缺的资源。在大陆尺度上，人们通过年降水循环特征界定各个生态分区。在更为局地的尺度上，水的运移是通过一系列过程的相互结合完成的 包括大气降水、地面漫流、地下水以及河网水流动。通过这些过程，水与其赋存的生物物理环境不断发生交互作用，它的性质也随之发生变化。上游任何一种生物体的活动，都能帮助我们判断影响这种生物体健康状况的水质以及水的其他特征。由此，本章给出了按流域管理自然资源的首要推动因素。采用流域作为自然资源的管理单元，是对自然地理环境重要性的一种认同。

景观中任意一点的可用水量以及水质状况均取决于降水在该点上游景观中的运动。栖息地的健康状态与可用水量和水质有着直接的关系，野生动物的种群规模是栖息地健康水平的指示灯。除了干旱区的人类居住地从几百英里外的河流输入生活用水外，绝大部分人类居住区的饮用水直接从当地河流、湖泊和地下含水层中抽取。这类生活用水的

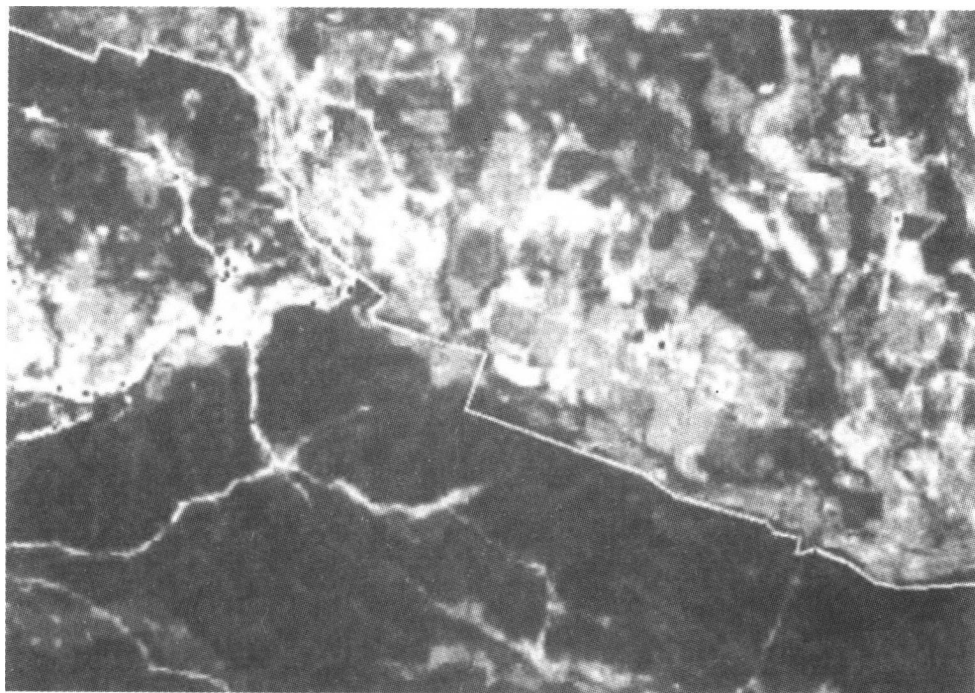


图 1-1 行政界线两侧的土地覆盖差异

质量是上游自然过程和人类活动的函数。顺流而下的河水把流域中各个位置的土地所有者、居住者和他们上游的邻居紧密地联系在一起了，因为上游居民的活动增加了河水携带物质的种类和数量。这些河水从上游流过来，然后继续流向下游邻居居住地。

为什么流域管理现在如此受欢迎呢？主要是因为人口的增长极大地加剧了当地人口数量对流域下游水质和水量的影响。解决污染的传统方法就是“稀释”，随着点源污染和非点源污染的增加，流域水体稀释污染物的能力不断下降，以至于流域下游出现了健康和安全问题。正是流域下游出现的一系列广为人知的严重影响，促进了 1972 年联邦水污染控制法案的通过，该法案通常被称为净水法案 (CWA) (Adler 等, 1993 年)。净水法案的首要目的就是要显著改善美国的水质状况。1977 年的净水法案的修正案和 1987 年的水质法案重申和加强了最初的净水法案。在最初的法案中，提出了两个国家目标，即到 1985 年，实现在美国范围内停止向所有水体排泄污染物和使这些水体的水质等级达到可以让人们安全游泳和钓鱼的目标。为此，美国成立了一个综合性机构，专门负责确立用于处理水污染及水质问题的标准、工具以及财政支持。贯彻净水法案的途径包括：通过国家排污许可证制度限制向河道中排放废弃物，开发保护湿地和水生栖息地，扶持和支持那些建立和更新污水处理厂的项目以及控制化学物质泄漏。

净水法案并未涉及农业用地以及正常的农业活动，如施肥、播种、犁地、收获以及农用地塘开挖。为了鼓励有利于环境的耕作，政府出台了一些对应用环保型耕作方式的土地所有者进行财政补偿的计划。例如联邦保护储备计划 (CRP)^① 以及相关的州与联邦保护

① CRP—<http://www.fsa.usda.gov/dafp/cepd/crep/crephome.htm>

储备增强计划 (CREP)。政府对于自愿将农业用地用于退耕还林、建立野生动物栖息地以及侵蚀缓冲带之类用途的土地所有者, 将获得联邦及州政府的经济补偿。通过净水法案, 联邦政府确立了它对国有水体水质以及流经私人财产的水体水质的影响。个体土地所有者总是力争保留他们的私有财产, 包括按照他们的意愿进行耕作和建筑的权力。在水质改善工程中, 州、县、控水专区、城镇以及其他政府实体扮演了利益相关者的角色。

美国环境保护局 (EPA) 负责净水法案的实施。近些年来, 美国环境保护局已经介入净水事务, 以帮助社会满足法案的要求并实现法案的目标 (Ficks, 1997 年)。它除了组建一些地方化流域管理小组并给予了相应的支持和资助之外, 还提出了一个新的理念: 科学家参与管理而不是领导管理。现在, 地方组织、居民以及土地所有者之间的对话联系正在加强, 从而避免了“大政府”和当地土地所有者之间的对抗。为了建立和应用地方流域管理方案, 联邦和州所属的各级政府机构提供必要资金和支持, 使专门化流域管理小组获得了其发展所需的合法性。

美国环境保护局用以支持地方规划的项目^②涉及到教育、流域过去和现在的数据、指南、金融和技术资源等方面。翔实广泛的互联网资源扩充了印刷品材料。教育贯穿在孩子们的游戏中和中小学教师讲述的课程之中。在美国环境保护局的众多存储诸如有毒物向空气和水体排放、河流流量和水质信息以及饮用水来源和质量等信息的数据库中, 部分数据库实现了信息的按流域检索与查询, 任何感兴趣的公民都可以随时查询与他们所在地流域有关的地图、图表、数据表、文字说明及图像。美国环境保护局的存储和检索系统数据库 (STORET)^③是美国存放河流水流量及其水质信息的主要数据库之一, 这个海量数据库对公众访问完全公开。它存放着联邦、州以及地方政府部门、印第安部落、志愿者组织、科研单位以及其他机构收集的有关地表水和地下水的生物的、化学的和物理的原始数据。

州和联邦政府负责水管理的机构主要依赖地方民众参与的管理小组来应用学术和政府机构的专业技术开发流域管理方案。因此, 通过出版物和电子媒体, 特别是互联网, 民众可以随时获得建议、数据、支持、资金和其他所需资源。在许多流域管理所取得的成果中, 大部分成果是由地方流域管理小组和他们所选举的官员共同合作所取得的。

1.2 管理委员会及管理方案

流域管理委员会由当地人员组成, 负责制订并实施流域管理方案。如上文所述, 流域管理委员会从联邦和所在州可提供的资金中获得经济支持, 以提出和实施管理方案。美国环境保护局、美国陆军工程兵团以及美国内务部提供专业技术和资金支持。自然资源保护局 (NRCS) 也促进了流域管理的发展, 它的地区办公机构在地方流域管理中发挥着重要的作用。流域管理要求流域内各方自愿合作并且相互协调, 通过达成共识来确定流域管理方案, 以应对当地、地区、州以及联邦利益相关者所共同关心的问题。流域管理小组赢得了越来越多的认可, 近些年的立法和政治家们的演讲都反映出对它们的支持。白

^② Surf Your Watershed—<http://www.epa.gov/surf/>

^③ STORET—<http://www.epa.gov/owowwtr/STORET/> (已改为 <http://www.epa.gov/STORET/>, 译者注)

宫环境质量理事会近期启动了美国遗产河流项目^①。在这个项目中，有一百多条河流被地方流域管理小组提名为遗产河流，这大大出乎白宫的预料。净水法案提及了流域管理小组以及它们在国家水标准达标方面所发挥的作用。副总统阿尔·戈尔曾经直接领导联邦部长们提出了一个能够实现净水法案所要求的‘可渔可游’的水标准的方案。在农业部长的领导下，经过酝酿，一项被称为‘克林顿总统净水倡议’的方案于 1998 年在国情咨文中被提出。

流域管理小组能够极大地影响地方自然资源的管理，并能利用联邦和州提供的资金和专业技术，提出并实施流域管理方案。尽管资金把握在各级政府机关手中，当地居民仍然可以通过流域管理小组对资金的使用施加影响。大体上讲，流域管理分为两个步骤：第一步是创建流域管理方案，第二步是实施这个方案。资助实施流域管理的前提条件是必须有一个完整的流域管理方案。管理方案的建立绝非易事，但是目前人们已经积累了许多经验教训（Ficks, 1997 年）和大量研究实例，它们可以帮助新的流域管理小组克服在方案制订过程中可能遇到的困难（Heathcote, 1998 年）。流域管理小组可以适时控制流域模拟建模在管理方案的发展、实施及监控过程中的应用。

在过去的几十年里，美国人愈来愈趋向于相互协作共同解决净水问题，特别是地方净水问题。政府机构也学会了通过提供资金和技术同地方团体紧密合作，以发挥它们的作用。当联邦政府机构与各个地方民间团体合作时，项目进展迅速。联邦环境保护局正在致力使专业技术、资金和海量数据库的获取变得更加便利。

地方管理小组将流域管理牢牢掌握在手中，政府和大学供职的科学家不再是流域管理的领导者，而是作为技术委员会的成员参与流域管理。流域管理人员和参与流域管理的居民必须熟悉学术界使用的模拟模型，并参与这些模型的应用。通过随后几章的学习，管理人员和居民将具备上述能力。

① 美国遗产河流 — <http://www.epa.gov/rivers/>

第 2 章 管理和建模的挑战

到目前为止，模拟建模在各流域管理小组中并没有得到广泛应用。本章将探讨关于建模的基本理念，建模与数据采集的关系以及在何种条件下建模最为经济。尽管在某些特定背景下不宜使用模拟建模，但是本章仍然试图探讨模拟建模的应用潜力。

就管理决策而言 需要认真考虑以下两个基本问题 第一 决策将会对人类、经济和自然系统造成什么样的影响 第二 个人和社会如何看待这些影响。模拟建模可以帮助我们 将科学知识形式化 进而回答第一个问题 通过民主政治程序 多元化社会能够通过个人和团体的内省回答第二个问题。本书着重于通过开发和应用一系列工具来回答第一个问题。精确的预测后果有助于进行候选方案的合理性论证。

在何种条件和背景下，自然资源的管理要运用模拟模型呢？模拟建模面临的挑战数量众多 而且各种各样 例如模型设计及开发是否合理、模型是否经济 以及模型是否富有成效等。或许你已经参加过这类问题的讨论，你发现有时候你支持或反对应用模型或建模。模型设计和开发的费用可能很高 但是在土地管理中一旦发生错误 那么可能会产生灾难性的后果，人们可能要为之付出更为昂贵的经济代价。本章将结合景观模拟建模的优点和不足，探讨建模的不同原因和目的。

人们经常对应用模拟建模来评价土地管理可选方案的观点报以非常不信任的态度。许多人认为 建模屡试屡败 是一种对时间、金钱以及人力资源的浪费。现实中有相当数量的个体模型不尽人意 难以实现人们的所有期望。事实上 人们的期望易于超过实际可能。因此，建模人员必须避免过于自信，认为其建立的模型能完全反映所模拟的系统。

建模是人类认识周围世界的一项基本活动，人们对其周围人或事物及其相互关系的阐述 都属于建模的范畴。任何人都不可避免地要进行建模活动 比如 在你每天上班的路上 你会运用潜意识中的有关生活环境和生活经验的概念模型 这些模型可以帮助你预测其他行车者的意图、车辆的大小和数量、路面的承载力以及你周围其他人或事物的行为。如果你的模型精确无误 你通常会或行或止 安全上班 反之 如果你的模型有问题 那么你可能会遇上大麻烦。如果发生类似如前方道路突然出现结冰、有人莽撞驾车、猛烈的暴风雨不期而至以及其他出乎意料的事件，有问题的模型可能会引发致命的后果。每个人心中都有关于这个世界的各种模型以及它们的状态和运行规则，因而人们都期待着各种事件都照既定的方式发生。年轻人被赋予相对较高的保险等级。年轻人心目中的模型可能是假定在面对危机时，他们可以在其反应时间内逃离困境。他们也许还假设其他驾车者的行车速度较慢 可以轻松超过他们。他们的模型并不具有足够的预测能力 确保自己可以完全免于麻烦。因此 作为一个群体 年轻人支付相对较高的保险费。通过经验的积累 通常是交通事故 甚至有些是重大的交通事故)这些模型的预测能力被不断提高 行车速度也降低到一个合理的等级。但是 即使是最有经验的驾驶员 在遇到出其不意的新情况时 也会措手不及。

为了使我们的模型切实可用，重要的是确保他人的模型与我们的模型协调一致，文化、法律和道德准则为此提供了一个总框架。例如，每一门学科都发展起了专门的文化和语言，并融合到模型的共享之中。我们中的每一个人，都有关于标准个体、境遇、住所、城市和自己的模型，我们一直无意识地将生活中的经验和感觉与这些模型相匹配。在对周围世界的认识，也可以说是模型的基础上，我们做出各种决策。因此，可以说，建模是人类固有的、自然的，而且是不可避免的活动。随着越来越多的非正式概念模型被改造成为形式化模型，建模在实际工作中的作用也在不断改变。以下的三幅插图以及相关的论述描绘了建模在过去、现在和未来的工作中所扮演的角色。图 2-1 描述了当今一个复杂的土地管理决策的制定过程。参与决策的每一个人都至少掌握一个关于景观机理的概念模型。图中每个矩形框都代表一个参与管理的个人。概念模型的建立依赖正规的专业训练、工作经验和人们处理抽象化概念以及模型的天赋。一般而言，进行一项土地管理决策需要一定数量的人员参与，其中每个人都具有独特的教育、职业和实践背景。因为背景与个性的差异，参与人员对流域的认识、模型各不相同，他们对物种需求、栖息地的适宜性、水文状况、生物多样性、遗传学以及化学与噪音的影响等方面有不同的认识。提交给管理小组的潜在管理计划实际上是向小组成员的个人概念模型提交的，基于非正式的个人概念模型，每个小组成员都能就一项管理行为所产生的后果发表自己的意见。通常情况下，由于各人在背景、专业技术和个性上的差异，这些观点难以趋于一致，造成参与人员对人类、经济以及自然系统到对管理策略的响应存在不同的看法，为了解决这类分歧，通常需要运用相应的政治程序。

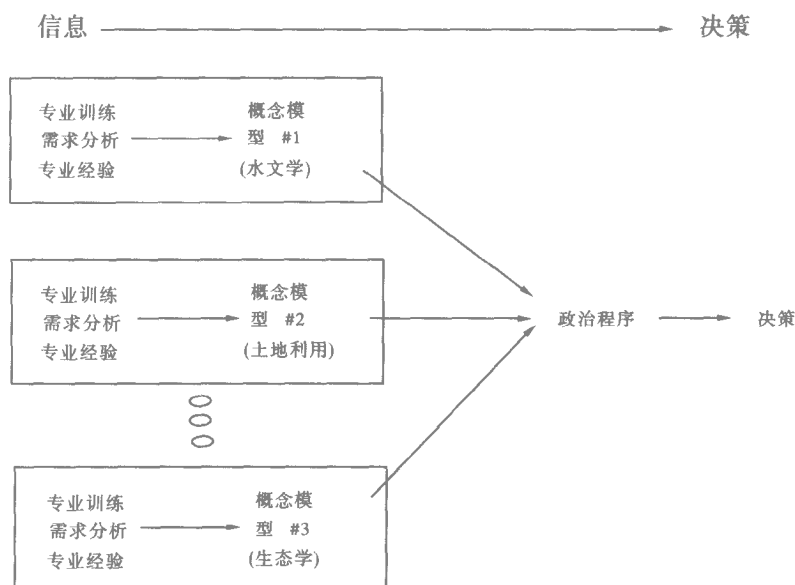


图 2-1 当前的景观建模方法

这种景观建模的方法十分有效，它一直是民主社会中制定多学科复杂决策的主要方法。然而，这种方法也存在若干不足之处。首先，个体模型肯定是不全面的，每个人仅能

掌握研究的问题所涉及的所有信息中的一小部分，而通常不可能掌握解决问题所需的全部知识，并能提出一个最优的解决方案。因此，拥有不同学术背景和专业经验的管理小组成员必须紧密合作。其次，由于个体模型之间难以交换信息，模型本身的评价就绝对不是件容易的事。一般而言，人们难以完全了解其所应用模型的复杂性。在实践中，概念模型并非是完备的逻辑推理模型，而是模式匹配模型，它与我们非正式插补模式的能力有关。当我们遇到新的情形时，都会将新情形和我们过去的经历以及总结的经验进行对比、匹配，从而决定在新情形下采取何种应对措施。我们习惯于运用逻辑来进行语言表达，但是在我们的思维中，我们运用模式来考虑问题。为了使交流更富有逻辑性，我们必须能够在思维中的模式匹配过程和正规的逻辑过程之间相互转换——这是一个人人都要学习的技能。只有模型之间有了充分的交互，对模型的评价才易于进行。第三，因为模型之间难以交换信息，所以将不同人员开发的模型组合起来是一项更加困难和费时费力的工作。当多个模型之间存在大量反馈环路时，对模型进行组合非常重要。例如：水文过程影响土壤湿度，土壤湿度影响土地利用模式，土地利用模式又会影响水文过程。多学科组合模型的功能可能非常强大，特别是在存在复杂反馈的背景下。

现今 随着描述一个或多个方面景观变化的模拟模型的设计和开发 图 2-1 中所示的决策过程也开始发生着变化。图 2-2 反映了当今将各种概念模型转化成相应的计算机模拟软件的发展趋势。图 2-1 中描绘的两个概念模型，在图 2-2 中被正式纳入软件之中。拥有模型 #1(水文学模型)的个人或者小组已经将对水文过程非正式的理解纳入到单独的水文模型之中。从事生态方面工作的个人或者小组也作了类似的工作(模型 #3)。目前，①相对于个人的能力而言，模型可以集成更多的信息；②模型可以被评价或者研究；

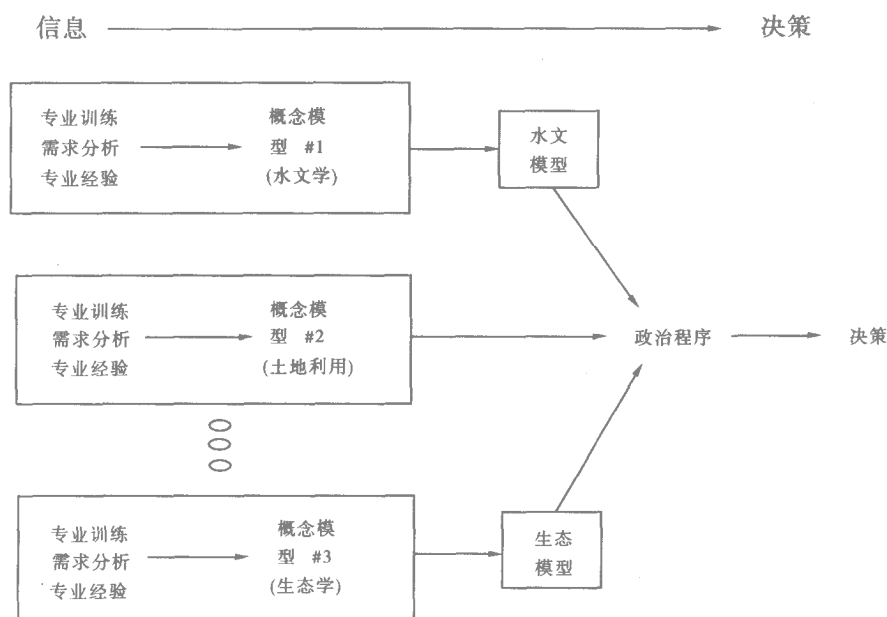


图 2-2 新兴的景观建模方法

模型可以扩展 并可以和其他模型进行耦合。这一新兴的景观管理方法仍然要求有一套政治程序，用来汇总各个模拟模型的输出结果以及概念模型的剩余输出结果。未来面向管理的模拟建模软件将会致力于实现从集成人的模式匹配型的概念模型到应用精确的基于计算机的模拟模型进行决策支持的转变。

图 2-3 表明 要实现从概念建模到计算机模拟建模的完全转变 协作式建模环境是必不可少的一环 因为在协作式建模环境中 参与景观管理的专业人员能够建立综合的时空生态模型 可以将单独的水文学、农作物轮作、土地活动、居住地适宜性以及其它模型开发和设计为彼此同步运行的系统。

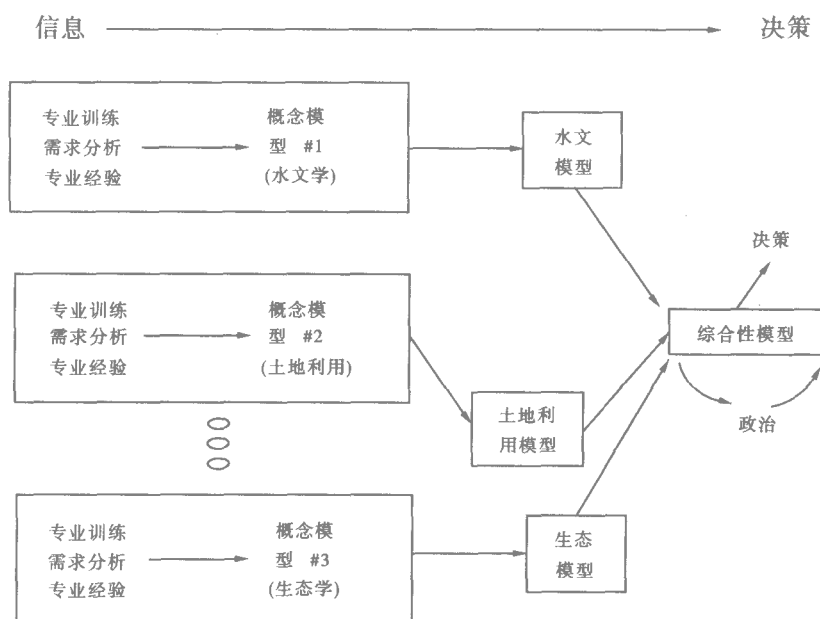


图 2-3 未来的景观建模方法

在图 2-1 至图 2-3 所描述的一系列管理模型中，政治程序都是很重要的。特别是形式化模型无法完全取代管理人员在决策制定过程中所发挥的作用，它们只能取代概念模型以帮助我们预测候选管理方案对自然和经济系统所产生的后果，而这些后果的价值和重要性必须接受受其影响以及对其关心的人士的论证。

本书的第 III 部分提出一个概念型的规划 从最终用户、建模人员及软件开发人员的角度出发，描述了这种管理建模的基本特点。

2.1 模拟建模的目标

清晰明了的目标是进行交流必不可少的条件。为某一系列目标而开发的模型不能用该系列的目标 或者用其他系列目标来评价 否则将会产生误导性的结论、不良的管理决策以及对相关模型的不合理认识。在这一节中，我们将介绍开发模拟建模的各类目标。

大部分模型可以被清晰地划分为两类，即科学认识类和管理支持类。我们从文献中

了解的模型大多属于前一类，而本书将着重探讨直接支持土地管理的模拟建模工作。首先，让我们了解一下基于研究的模拟模型。

科学认识类模拟建模

致力于认识自然的科学家们倾向于开发关于自然的各类模型，以体现他们关于自然的可检验的各种假设，并通过对假设的检验不断对其模型进行修正。这类模型通常难以操作，特别是对与模型开发者分处不同学科领域的人员。这类模型总是以单一学科为中心，例如，水文学专家开发的水文模型可能会涉及到一些简单的生态学内容，用以描述土地覆盖特征；而生态学家开发的功能强大的生态模型或许也会涉及到非常简单的水文模型。

自然系统靠大量的环境参数以恒定通量的方式运转。为了认识自然系统的一个分量，我们需要将注意力集中在一小部分变量上，并估计自然系统对这些变量变化的响应。因此，在进行科学分析时，必须人为地控制大多数自然变量保持不变。以下以森林生态系统为例，为数不多的几位科学家可以迅速地识别这一系统内成千上万的测度。以下是一个森林生态系统测度样本集：

- 化学物质浓度
 - 有机体内
 - 土壤及枯枝落叶层中
 - 大气中
- 物种
- 种群特征
 - 年龄结构
 - 数量
 - 分布
- 气候和天气特征
 - 温度
 - 湿度
 - 压力
 - 降水
 - 闪电
- 地球物理特征
 - 地质学
 - 坡度、高程和坡向
 - 纬度
- 外部因素
 - 太阳辐射
 - 系统流入水量
 - 虫害
 - 火灾

此外，以上特征值的测量还可以在不同的时空尺度和不同的群集上进行，也就是说，

既可以度量这些特征在特定时空组合中的平均状态,也可以度量它们在时空中某一点的状态。生物体的体内环境或种群的种内环境与生物体的体间环境或种群的种间环境差异很大。自然环境是非常复杂的。为了理解这一环境,科学家们往往首先分离出单个变量或者几个有限的变量。例如 要完成一项氮浓度对植物生产力影响的研究 研究小组可能需要在实验室环境中通过固定上样本集中的有关变量来维持这一系统的稳定,而且系统变化必须维持得相当恒定,以使研究人员能够找出氮浓度与植物生产力之间的相关。这些工作为科学研究积累了重要资料 科学家们试图从这些数据中得出因果关系 从而建立一个模型来反映系统的一小部分状况。这个模型既可能是一个基于统计的简单的线性回归模型 也可以是一个复杂的非线性时变模型。在理想状态下 模型会具有一般性 可以在当前试验以及其他环境中预测那些不便直接测量的数据。为了检验和校正新模型,需要设计新的试验。如果一个模型被证明具有良好的预测能力,那么它就是一个成功的模型。

土地管理中的模拟建模

通常情况下,科学研究中产生的模型并不能直接用于土地管理决策或者解决土地管理的相关问题 其原因是 首先在科学研究中 为了深入研究一小部分变量 总是试图使绝大多数参数保持恒定,而土地管理人员不可能像科研小组控制一个相对较小的试验环境那样严密地控制整个自然系统。其次 由于受到研究经费的限制 科学研究的持续时间往往限于一年到数年之间 而复杂景观的状态随时间变化相当缓慢 因此 科学研究的成果不足以支持复杂景观的长期预测。当今 人们要求土地管理人员通过结合培训 试验以及分析科研成果来寻求制定专业化的决策。有些科学研究成果的应用价值比那些有关奇闻轶事的信息强不了多少。土地管理人员很清楚景观随着时间和空间而发生变化,并且景观包含有不同于科学研究中所使用的各类植物和动物组合。单纯的科学研究,特别是在实验室进行的那种 对于土地管理而言 充其量只具有建议价值。

虽然单个的科学研究成果对于制定完善的管理决策作用有限 但是反映流域几年、几十年,甚至更长时间变化趋势的大量科学记录可以为决策的制定提供丰富的信息。发掘和归纳有用知识是一项耗费时间,而且代价昂贵的工作。当今的科学记录由土地和流域管理经验、教育以及对流域管理感兴趣而且有见地的人士的论述混合而成。教育由学校提供的正规专业培训、文献阅读、参加研讨班、会议和讨论会构成 工作经验又扩展了专业知识。流域管理是综合上述各种背景信息预测候选管理方案如何影响未来景观状态的艺术 其中 景观状态包括土地模式、水质、自然居住环境和经济效益等。概念模型是管理人员背景和经验的综合 因而也是非正式的 是土地管理人员头脑中的想法 很可能是复杂的想法 尽管如此 这些概念模型依然功能强大 它们是当今制定决策的主要基础。

预测可能涉及到正式的模拟建模,即在给定系统初始状态和预先定义系统行为的前提下 应用因果关系 描绘系统未来状态的过程。正式的模拟建模是建立在经验、事实以及正式出版的文献资料的基础上的。通过撰写可同他人推敲的文字或者计算机代码,模型具备了具体的形式。不像非正式的个人概念模型 正式的模型可由多方参与评论 协作性越来越强。

每个人的头脑中,都会有一个关于这个世界的概念化动态模型。任何两个人的模型

的相似程度 取决于这两个人的经历和教育的相似程度 同时 还与他们的认知能力、健康和哲学有关。本书的前提是假定任何个人都不具备独立制定最优的景观管理决策所需的足够经历、背景和智力。专业人员头脑中的那些非正式的设计、发展和应用的模拟模型必须进一步交流和相互结合。传统上,上述过程会通过会议、听证会、正式和非正式的论证以及其他一些政治程序来实现。各种模型 观点 被提出、辩驳 并和其他模型进行参照和对比。

随着计算机的广泛应用,计算机软件实现了对各类模拟模型的集成,从而增强了传统上通过论证和政治程序进行模拟模型组合的方式。表 2-1 描述了一个产生土地管理决策的简单七步流程。

表 2-1 土地管理决策制定过程

活动/步骤	传统的方法	新兴的方法	未来的方法
(1)基础研究	引用相关学术刊物	引用相关学术刊物	引用相关学术刊物
(2)专业人员培训	高等教育	高等教育	高等教育
(3)模型开发	概念模型	概念模型	概念模型
(4)模型形式化	无	具体学科的计算机模型	具体学科的计算机模型
(5)形式化模型的集成	无	无	将模型转化为模块,并集成到一个单独的模型中
(6)影响预测	基于对概念模型的口头讨论	基于对概念模型和具体学科的计算机模型的口头讨论	基于协作式多学科模型的模拟
(7)决策	基于预测结果的社会价值	基于预测结果的社会价值	基于预测结果的社会价值

表中的右侧三列分别描述传统的、新兴的和未来的土地管理决策制定方法的流程。可以看出 这三类方法的前三个步骤是一致的 科研人员将研究中取得的新结果发表 这些新的内容必将会出现在高等学校的教学计划和专业技术人员可以获得的技术刊物上。接下来 步骤 3) 通过学习这些知识 管理人员必然会对景观系统产生一种认识 或者说是一个概念模型 在传统管理方法中 基于上述认识 通过各方管理人员的参与 产生最佳的专业评价。各种分歧的意见 将在正式和非正式场合 由参与管理的人员通过口头协商来解决。如今,各种具体学科的计算机模拟模型吸收了多种概念模型。各种模型的形式化是管理决策制定过程中一个非常重要的步骤(步骤 4),它体现了将概念模型组织成数学/逻辑模型的优势。正式的模型存储在计算机之中,可以轻松地进行检查、评价和修改。各个学科 水文学、生态学、生物多样性和经济学等 中心化模拟的结果 必须经过景观管理决策人员的正式和非正式会商后再做进一步的综合。若干以学科为中心的模型的预测结果极易出现不一致性。

在未来的土地管理决策制定方法中，新增了步骤 5。在这一步骤中，若干独立的具体学科模型被集成为一个单独的协作式多学科模型。那些针对不同模型之间相互作用的口头讨论也被取消了。管理人员可以应用综合模型，对景观管理候选方案中的决策直接进行检验。检验结果可以和管理目标以及社会折中价值建立联系。现在关于特定土地管理决策的会商可以忽略各个模型的预测结果之间的矛盾，从而使研究人员把精力放在土地管理的目的、目标以及折中价值的规划上。

2.2 数据和模型的先后顺序

数据和模型之间到底存在着什么关系？本节把模型和数据当作一个整体中不可或缺的两部分来描述。缺少任何一方，对方都不是完善的。有些人认为，如果没有数据，模型一无所用；只有积累了足够的支撑数据，模型开发方能进行。另外一些人认为，只有已经开发好的模型需要数据，数据集才有实用价值。模型的形式化过程常常会遇到资料需求不能被立即满足的情形，但是我们也必须承认已经有人在没有支撑数据的情况下，仍然在使用有关概念模型。模型的形式化过程能够揭示缺失信息的重要性，显示了模型形式化的优点而非缺点和困难。形式化了的模型可以通过变量的敏感性分析来确定缺失数据的相对重要性，其结果有助于帮助我们经济而有效地收集所需的资料。

应用模型来指导和调整数据收集方案可能并不是最为经济的。模型敏感性分析的过程可以帮助我们将数据收集集中到最为相关的信息上。通过模型敏感性分析，可以判断出模型结果对诸如方程或者变量之类的模型组件的轻微变动的敏感程度。在模型建立阶段，敏感性较小的组件和其他组件相比，可以更为安全地被忽略掉。如果在资料收集完毕之后建模，敏感性分析可以为我们指出哪些收集的数据对模型的精度很重要，哪些不影响模型精度，哪些必需的资料根本没有收集。各种模型，包括模拟模型，都是为了解决某一或者某些特定问题而开发的。在模型的设计、开发和运行阶段，都需要运用敏感性分析来研究变量的重要性。在模型开发的早期设计阶段会涉及到大量变量，通过概念性的敏感性分析，一些变量因其重要性远远小于其他变量会被设计人员排除掉。在模型开发阶段，另外有些变量常常因为开发小组遭遇时间限制、专业技能缺乏和资金不足之类的问题被开发人员去除。最后，模型建成以后，可以就不同变量的重要性展开正式的分析。通过分析，或许仍会发现，有些变量对模型结果影响相对很小，其参数估计值和精确值具有相同的效果；而其他变量对模型结果影响显著。精确地测量那些重要变量可以使模型运行更为经济有效。

流域数据的收集与流域系统以及景观模型的研究和开发应该相互协作，同步进行。相信可以设计出一种能够完全满足未来建模所需重要信息的数据收集方案是不明智的；同样地，不顾现有数据和已获资助的数据收集项目就进行模型开发也是不明智的。流域是非常复杂的，而且用于预测流域未来景观的概念、观点和理论也相当丰富，这些概念和观点都会导致需要不同数据采集方案的模型的产生。因此，流域建模和流域状态信息收集需要同步开展。

2.3 如何使模型经济实效

为了使景观模拟建模更为经济实效,我们需要迎接一系列的挑战。这些挑战可以归纳为以下几类:

- 人员协作——如何协调多个利益相关者的参与?
- 软件——还需要开发什么?
- 定义流域状态——如何更有效地应用地理信息系统?
- 定义流域过程——管理人员如何定义流域过程?
- 误差传递和敏感性分析——如何估计模型误差?

在以上分类中 人员协作可能是最令人感兴趣、最能使人振奋的挑战了。如前 2.1 节中所述,绝大部分现有模拟模型都是为了认识支配景观发展的科学规律而设计的。然而这些模拟模型以及相应的知识和相关文献对土地管理人员作用有限,它们必须和大量的不同领域如生物、生态、经济和农业等的研究成果审慎而又紧密地结合起来才有其应用价值。地理学和区域规划是各个不同领域融会贯通的枢纽。一个专业技术人员很难对相当数量的不同学科领域的科研成果做到完全理解并有效组织起来,有必要建立一个小组以涵盖所涉及的研究学科。因此在开发未来的景观模拟模型时 我们将会聘请具有不同背景的科学、学者和工作人员。促成不同小组人员协调工作的规章制度正在不断推出并日趋完善。

当前的面向管理的模拟模型尚不具备使基于不同学科而开发的面向流域的模型之间实现充分互动。虽然大量的原型环境的确存在 但是它们都是针对特定的用户、地区和问题而开发的 (Trame 等,1997 年;DeAngelis 等,1998 年)。尽管现在已经有两个不同学科的模拟模型进行耦合的精彩案例,但是很少有人尝试去设计可供多个不同学科模型进行集成的软件环境。美国地质调查局 (USGS) 开发的模块化建模语言是近期这方面的一个尝试 (Leavesley 等,1995 年)。

景观及其各个组成要素的状态测量是开发高效景观模拟模型至关重要的基础。对于绝大部分自然系统而言,良好的研究项目都会适当满足这一观测需求。地面观测历来受到重视,而且遥感技术的应用正在得到加强。对景观中的任意一点,遥感方法只能提供非常有限的信息,但是对于整个景观,遥感方法能够提供全局的信息。野外工作能够在若干点上收集翔实的数据,遥感影像能够采集景观中 $10\sim 50\text{m}^2$ 大小的地块的部分信息 这两者的组合具有强大的景观状态采集功能。从 20 世纪 80 年代初期以来,专业人员开发了世界上各个地区不同比例尺的数字地图,其中的绝大部分是依据遥感图像和点上观测绘制的。我们较好地开发了一些项目,能够对我们的景观状态绘出一幅图画。这些项目包括由自然资源保护局开展的土地调查,由地质调查局开发的数字高程地图,来自于不同平台的遥感图像,以及各州和地方的项目。

我们对驱动景观以及相关生态系统发展的自然过程缺乏足够的了解。尽管对给定系统的状态测量所需经济投入相对较少,也可以在短时间内完成,而且还可以借助统计学方法表达,但是对自然系统的各种驱动过程的认识尚需进行更多的调查研究。其实我们在

模型中想捕获的正是这些驱动过程。本书的第 3 章探讨了现代生态学理论和当前人们对自然系统的组织和工作方式的认识，科学家已经将关于生态学的一般理论建立起来，这些理论可以帮助我们在较大尺度上预测景观和流域对管理活动的响应。

为土地管理者设计景观模拟模型的开发人员面临的最后的一个挑战是误差传递和敏感性分析的问题。实质上，景观建模的各个方面都存在着误差的问题。在概念设计、模型驱动、数据测量、参数估计、算法设计以及计算机硬件计算的各个阶段，模型开发人员都要不可避免地误差打交道。某些误差的重要性是通过一套被称为敏感性分析的工作程序来确定的，这套工作程序还能帮助土地管理人员认识从多方面控制景观的重要意义。本书的第 10 章将会概述误差、误差产生的根源以及如何跟踪景观模拟中的误差。

2.4 模型应该有多正式

如果建模势在必行，那么我们如何为给定的模拟任务选择最好的模型呢？到底用什么样的标准来评价一个模型的功能？如下是分析上述问题的两个基本准则：①开发和维持模型的成本投入如何；②怎样才能保证模型的精度。在进行成本效益分析之前，我们先看看模型按照成本进行的分类，其层次结构为：

- 常识模型
- 经验模型
- 专家模型
- 科学模型
- 多学科管理模型

通常情况下，模型的开发成本按照以上层次结构中的前后顺序递增。如果不出意外的话，模型的精度也随之增高。下面几段简短论述将会帮助我们搞清这些模型的优点与不足。

常识模型

在本小节的讨论中，常识模型就是时时伴随我们的概念模型。是我们对世界的非正式的认识，能够帮助我们对周围发生的事件做出本能的反应。随着我们的成长，我们的常识模型会随着经验与教训的积累得以逐渐完善。我们从来不自发地发展相互一致的常识模型，以至于我们常常陷入这样的沉思：那些持有“疯狂”想法的人是如何得以生存的呢？尽管存在着困难，语言还是允许人们彼此交流彼此不同的模型——有时人们会因对方的想法而感到惊讶甚至震动。我们常常发现，人们很难存在共识。事实上，我们中的每个人关于我们共享空间的模型总是稍有不同的。如果这些模型能够支配我们通过马路，允许我们开创事业，帮助我们和他人进行交流并对我们行为产生的后果预测得非常精确的话，那么我们就可以和这个世界实现和谐相处了。

我们的有关世界的常识模型可以说是涉及多种学科的。以横穿马路为例，我们的模型要充分考虑到有关行驶车辆的物理学、有关驾驶员的心理学以及我们自身的能力。在这个层次之下，才是我们的肌肉和有关神经系统的复杂协调活动。想象一下如何设计一个让计算机横穿马路的程序，我们就能领会到日常生活中一般常识模型的功能和复杂性。

在流域背景中 我们的模型总是把降水和河流水位、季节和植被、云层和预期天气、裸地和河水泥沙含量以及建筑位置和洪水危险等方面的因素关联起来。从边界成本的角度来看 我们的模型是非常便宜的 因为它们随时都可以被使用。受教育（正式的和非正式的）是我们发展、检验和提高常识模型的一个过程，并且还为我们提供了带有数据的常识模型。尽管常识模型非常实用并且拥有不可度量的价值，但它们缺乏进行明确的交流所需的正式性。但有些情况下，我们个人的常识模型可以通过归纳总结，成为经验模型。

经验模型

常识模型因其易于表达和易于被接受 会逐渐成为我们共同文化的一部分 并以经验模型的形式被我们交流和传授。工程师在设计桥梁时，可能按照预计荷载的三倍设计桥墩 园丁在种植球茎植物时 开挖土坑的深度在南方是球茎直径的三倍 而北方是球茎直径的四倍 项目竞标人可能按照他所估计的项目工期的两倍来投标 过马路时 红灯停 绿灯行——以上都是我们在经验模型支配下行为的例子。复杂的科学研究和相关的模型常常会产生新的规则 如许多科学研究和化学反应路径模型都支持这类规则 即适度的体育锻炼会降低人类的健康风险。经验模型形式简单，其应用使决策制定过程变得简单易行，虽然并不为决策制定提供理论依据，但是它们精确而实用。

专家模型

与常识模型类似，专家模型也是概念模型，是特定领域的专业人员通过多年的培训学习和实践形成和发展起来的。通过走访医生、律师、教师或者科学家 我们可以了解各个学科认识世界的复杂而又严密的专家模型。专业人员墙上张贴的学位证书或资格认证书标志着他们享有所在领域的至少部分模型或观点。类似地 接受一次水管工人、电气工人、卫生保健工作者或者建筑工人的访问 我们就会接触到他们共同享有的有关其所在领域的世界观。这些专业人员都拥有关于我们这个世界某些特定方面的高度发展的、基于专业技能的概念模型。在任何时候，我们只需投入一些努力，就能利用这些专业技能。

长期以来 科学家、工程师以及他们的专业技能已经在流域、湖泊和河流管理中发挥了强大的作用。控制着大量土地的管理部門可以吸收科学家和工程师为他们制订管理方案。无论是大坝的建设、人工湖泊的开挖、沼泽的疏干还是河流的疏通 无不是在正式技术人员所拥有的专业技能的基础上进行的。通过基础和应用研究，专业技能不断得到更新和扩展。在同一领域 可能出现相互竞争的多个模型 甚至有些模型之间可能存在观点的分歧。

科学模型

科学模型是专家概念模型的形式化，以便专家之间可以直接进行相互交流。这些模型可以在可供参考的期刊文章中以文字的形式存在，或者以正规化算法的形式被集成在计算机程序之中。通过期刊文章，其他科学家可以研究、复制刊载的科学认识或者模型，并可以深入分析它们的精度 通过计算机软件 科学家可以获得在不同约束条件下模型结论和效果。那些经得起其他科学家推敲检验的模型具有丰富的价值，是那些新技术创新的基石。可以说，正是这些科学模型在不断地改变着我们的世界。

形式化了的科学模型不如专家意见那样普遍，因为只有极少数的专家意见经得起来自本领域的众多人士的检验。历经检验的正式模型在建立共识和协调专家意见时十分

有用。

科学模型在流域管理中有重要的应用价值。本书的第 5 章中回顾了大量专门为支持流域管理而开发的单学科科学模型。这些模型还存在着一些不足之处：每个模型都对流域过程的某些方面进行了详细的描述，但是对其他方面，仅是稍加提及，甚至根本没有考虑。例如，在一个水文模拟模型中，可能会花费很大精力进行有关河水流量的模拟，但是却假设流域的景观特征如植被覆盖保持不变。相反，在一个植物演替模型中，植物物种密度依据植物物种间相互的作用、土壤特征以及营养状况之间的关系可能是随时间变化的，但是它却应用年平均土壤湿度指数作为土壤湿度参数，根本就忽略了暴雨产生的径流对植被演替的影响。由此，水文模型和植被演替模型会导致不同的管理方案。

多学科管理模型

针对单学科科学模型的缺点，许多科学家开始展开协作，共同开发支持流域管理的综合型多学科模型。一系列的挑战摆在开展这些工作之前，如开发协调软件相互调用的各种标准、软件集成的成本以及流域管理小组对综合型模型精度能否接受。本书的大部分内容致力于评价多学科管理模型的成本和效益。

哪一种建模方法最好

在日常工作中，管理人员常应用非正式的常识模型、经验模型和专家模型。正式的科学模型和多学科模型被科学家所使用，这些模型通过改善管理人员的非正式的建模方法来对管理决策施加影响。合理建模方式的选择要基于一系列复杂而又相互交织的问题：资金、时间、精度需求、法律先例、地方专家意见、利益相关者的收益、科学知识以及其他地区的成功经验。Funtowicz 和 Ravetz(1991 年)提出了评判最佳决策的两个因子：利益相关者的收益和科学知识。如果风险和科学不确定性都较低（例如，科学知识已被很好的掌握），那么应用科学模型足可以用于制定决策；如果风险和/或科学不确定性都较高，那么专家咨询应该取代应用科学模型；如果风险或科学不确定性再升高，那么就要遵循后规范科学来进行决策。所谓后规范标志着随着时间的推移，所言的科学即便实际上不总是，但起码理论上也是能够应付社会挑战的。Funtowicz 和 Ravetz(1991 年)认为土地管理已经进入了一个新的时代，在这个时代里，管理者不但需要科学提供的片面认识，还必须考虑地方经验、广大同行的见识以及利益相关者的信任与感受等内容。他们还提出了制定决策的三步法：首先应用科学知识，然后听取专家咨询意见，最后再运用后规范科学。决策程序如果按照以上步骤进行，错误的决策要么不能被执行，要么成本过高，或者被收回重新讨论。流域模拟建模工作可以和这三个步骤同时进行。如图 2-4 所示，流域管理人员如果只是追求较低的科学不确定性和利益相关者收益，那么应用科学模型就足够了。专家模型支持专业咨询意见，而理念模型支持后规范科学。

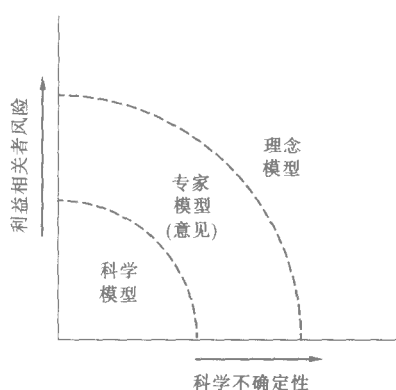


图 2-4 建模在不同利益相关者收益和科学不确定性等级上的作用

前述的每个建模范例和方法在土地管理中都可能具有实用价值。如果科学确定性很高而利益相关者的风险很低，那么应用科学模型就足够了。而且因为缺乏收益，利益相关者也不再会花费时间参与管理工作。如果科学不确定性和（或）利益相关者的利益比较高，那么基于科学的模型尽管具有潜在价值，但是已经没有足够的能力完成这样的工作了，只有根据专家意见才能达到这一目标。更高的收益和（或）更高的不确定性要求最终的决策在政治程序的基础上制定，在这一程序中，基于科学的模型可以支持专家意见，进而作为证言而进入到政治过程。本书认为科学模型通过多学科管理模型的集成将会发挥更大的作用。