

源流域水文水质模型及其应用

2012.1

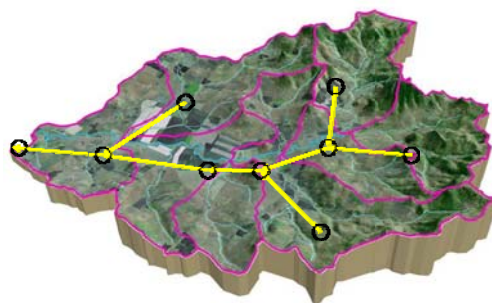
澳思（Earth Systems）环境咨询公司一贯致力于为各类环境问题寻求和实施创新并有效的解决方案。我们在环境领域提供咨询、项目管理、技术研发的服务。自从1993年成立于澳大利亚墨尔本以来，我们以高质量、高目标和为项目增值的服务在业内获得了广泛的好评。公司对客户服务承诺的宗旨包括专业，卓越，全面的优质服务及高标准商业道德规范。

澳思（上海）环境科技咨询公司于2006年9月在上海正式成立。我们与包括澳大利亚eWater CRC在内的众多合作伙伴一起为中国的环境事业工作，我们的服务反映了当今与未来人们对于环境的需求。

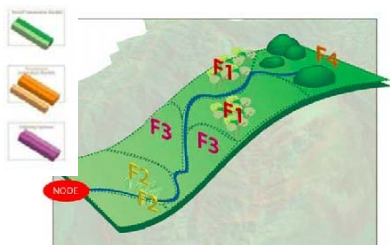
源流域的概念和结构

源流域（Source Catchments）模型是澳大利亚eWater CRC开发的一个适用于流域尺度的水文模型软件。它结构灵活，允许用户根据具体问题和有限的信息选择模型复杂程度。源流域的设计理念允许建模者和研究人员从一系列可用选项中选择并链接模型组件，建立集成模型。

源流域模型使用了“节点-链接方式”的模拟系统来模拟流域中主要河道中水和物质的生成、输送、转化过程。子流域的边界通过地形以及数字高程模型（DEM）确定。子流域之间通过“链接”和“节点”建立联系（“链接”和“节点”分别代表河流段落和河流交汇点）。



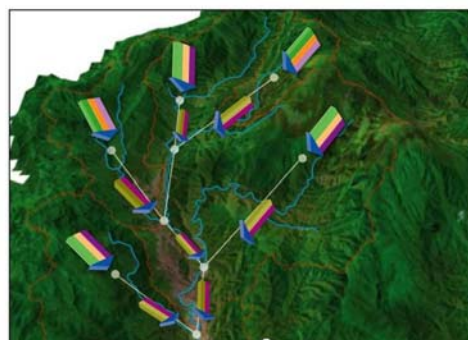
建立一个源流域模型通常需要以下几类数据：1）地理信息，包括数字高程模型（或子流域地图）、土地利用图、谷沟密度和地质灾害情况等；2）气象数据，包括模型运行期间的日降雨纪录和日/月潜在蒸散量；3）其他基本情况，包括各站点的地理坐标、物质（污染物）生成数据、水库和水系的运行管理、点源负荷等；4）模型校核数据，长期的监测水质数据和径流数据等。其中污染物生成数据往往来自当地的有关研究，而且和土地利用情况有紧密的关系。



在源流域中，子流域内部被分成多个功能单元（FUs），每个单元具有共同的水文响应或特征，功能单元一般依据不同组合的土地利用类型/土地覆盖（如森林、作物或城市）、管理、地理景观中的位置（平原、山坡、山脊）和灾害类型划分。

每个功能单元可以定义三个基本的“过程”：径流生成、物质（污染物）生成和物质过滤。通过这种方式，模型模拟子流域内的每个过程，并将径流量和物质负荷的计算结果赋予子流域“节点”。如果需要，子流域内每个功能单元（FU）都可以应用一个独立的降雨-径流模块来计算径流量，用户也能对每个功能单

元应用不同的参数集。同样地，每个功能单元也可以应用不同的物质生成和过滤模型。子流域中所有功能单元的输出构成一个节点，其中包含多元模块的模拟结果。在模型中，子流域以节点的形式表现，而节点之间通过链接建立联系，最后汇入输出节点。



一个用源流域模型构建的完整模型包含两个主要部分：项目和方案。项目是一个方案包，其中一般包括基本方案和情景方案。每个方案都是一系列模型的集合，它们定量刻画流域内的主要过程（如物质运移、转化等），包括流域和子流域的边界、降雨 - 径流和物质生成模型、数据集和参数集。如果输入数据集或参数集改变会形成一个新的方案，如土地利用类型或气候发生变化时。软件提供了一系列的工具用来比较不同方案的计算结果。

源流域模型的功能

源流域模型界面友好、易于上手。它不是一个单独的模型，而是一个发展整体模型的工具，它整合了很多成熟的模型，如降雨-径流模型中的萨拉门托模型、新安江模型、澳大利亚广泛使用的Simhyd模型等。模型是一个开放式的平台，也可以很方便地和其他模型工具互相结合使用，如eWater CRC开发的适用于城市水环境模拟的MUSIC模型，以及MIKE系列模型等。



运行一个方案之后，模型有一系列工具可供我们察看结果，其形式可以是表格、各类图表甚至地图。我们还可以查看统计数据、比较不同方案的运行结果、或者进行随机性和敏感性的分析测试。

源流域功能强大，可以帮助我们模拟以日或月为时间单位的长期情况，可应用于所有尺度的流域，可以处理多种可能的变化情况（如气候、土地利用、土地和水系管理等方面的变化），可以预测径流、淤积和营养物的情况。它也欢迎用户自己开发插件程序，以进一步根据需要扩展软件的功能。

源流域模型的应用

在澳大利亚的应用

尽管是一个比较新的模型工具，但目前源流域模型由于其先进的架构和灵活性，在澳大利亚已经获得了十分广泛的应用。目前应用的项目包括：墨尔本大区“更好的海湾和水道”决策支持、大堡礁淤积物与营养物的管理、为堪培拉评估未来供水方案、治理亚拉河低溶氧河段、评估南澳州Mt Lofty土地利用和气候变化的影响等十多个项目，其中很多都已经持续5年以上的時間。

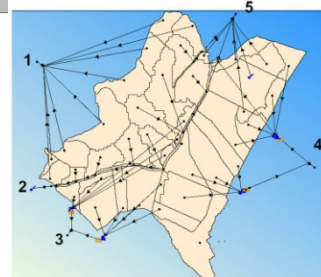
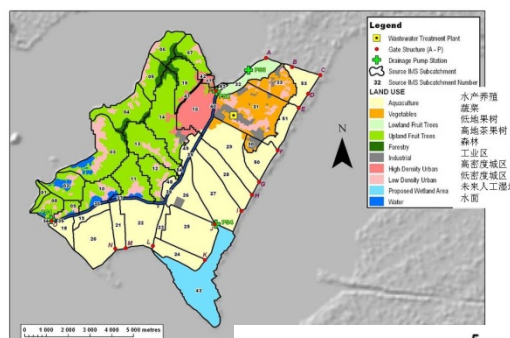


源流域模型在澳大利亚主要的使用方向是以下这些：**削减指标的确定、区域土地利用规划、成本-效益分析、最佳实践措施的效果评估、湖泊和水库的水质管理、环境负荷定量、生态影响、公众知情。**

中国的应用情况

作为中澳太湖治理项目ACEDP的一部分，自2011年7月起，一个由澳大利亚eWater CRC、澳思（上海）环境咨询公司、苏州环科所、南京地理湖泊研究所、苏州市环境监测中心和苏州东山政府成员组成的工作小组启动了苏州东山半岛源流域示范模型的工作。该项目的目的是通过建立示范水文水质模型，演示模型工具如何帮助政府决策，暨建立决策支持系统（DSS）。我们的工作内容包括对模型软件的培训、基础数据和当地政策指向信息的收集、开发基础模型和一系列情景方案、运行模型并据此对当地决策提出建议，以及撰写有关论文。

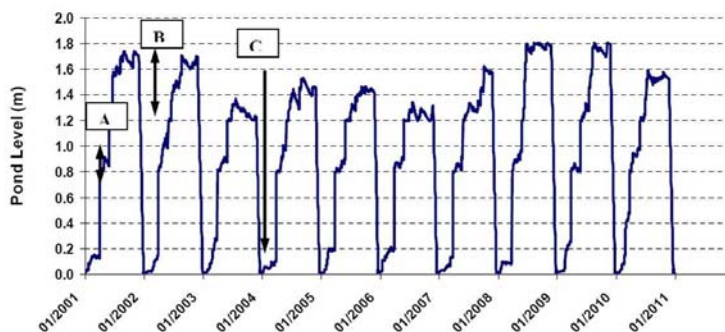
东山位于太湖的东南角，流域面积达7,737公顷，西边是山地，东边是太湖流域特有的圩区，用于水产养殖，且整个水系通过13个水闸和4个排涝泵站进行管理。我们对流域内的土地利用情况进行分析，将其分为八类：水产养殖、高地森林、低地果树、高地茶果树、蔬菜种植、高密度城区、工业区、低密度城区（即农村居住区）和水面。流域内最主要土地利用类型为水产养殖塘，其次是高地茶果树。



我们导入东山的数字高程地图，并将其划分为50个子流域，建立“节点-链接”网络。由于地势低平，没有单一的流域出口，我们设置了5个虚拟的出口节点来代表流域径流

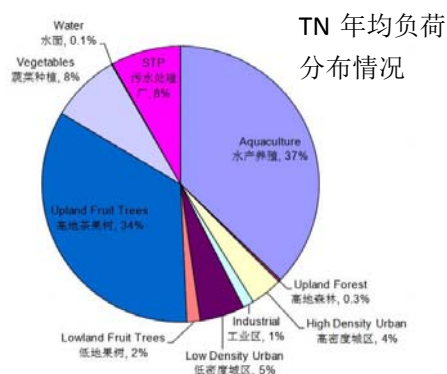
和污染负荷排出情况。

流域内最主要的土地利用类型：水产养殖有其特殊的生产管理方法。我们使用源流域将养殖塘模拟为水库，并根据当地的实际情况设定了全年的蓄水排水规则，即：每年1~3月空池蓄雨水，4~5月水深保持在0.8~1.0米（A），6~11月水深保持在1.2~1.8米（B），12月排空（C）。图示从2001年到2011年十年的情况，可以看出降雨量的变化对养殖塘的影响，在较湿的年份，需要使用泵人工保持1.8的控制水位，而较干的年份很可能不需要。由此，我们未来也可以预测气候的变化对养殖塘营养物排放情况的影响。



东山水产养殖塘水深管理情况，2001~2011年。

项目经过半年的运转，建立了东山基础模型和三个情景方案。在基础模型中我们发现，水产养殖塘贡献了2/3的径流量，但其中90%发生在年底排空时。这也意味着在全年大部分时间，占用地面积第二位的高地茶果树贡献了流域大部分的径流。项目分析的目标是总氮和总磷两项营养污染物指标。由于高地茶果树产生的径流中负荷浓度高，结合比较高的径流量，因此高地茶果树全年产生的总氮污染负荷与水产养殖塘相似，都占全部的35%左右。总磷年平均总负荷的情况也类似。



对各个用地类型进行单位面积总氮负荷的研究发现，区域内负荷最高的用地类型是蔬菜种植，其次是高地茶果树。由于缺乏当地的实测数据，我们使用的是太湖流域的研究数据，而且受限于有限的项目时间和投入，我们无法对模型进行最终的验证。尽管如此，我们发现模型得到结果在东山的实地监测数据和太湖总体方案中报告的范围之内，而且与同时进行的贝叶斯网络苏州示范农场项目的结论十分接近（蔬菜种植）。

我们根据苏州当地的环保规划、拟建项目计划和政策指导，设计了三个情景方案，分别是：1）市政污水外接管网，并改造农村地区化粪池系统；2）蔬菜、高地茶果树和水产养殖塘的营养物管理；3）建造人工湿地以过滤水产养殖塘排放水。通过建设情景方案并与基础模型相对比，发现每个情景方案都可以取得10%~18%的总氮削减效果，和14%左右的总磷削减效果。

通过此次为东山建设源流域水文水质模型，我们确定水产养殖塘和高地茶果树为流域内最重要的营养物污染源，并发现规划中的情景方案（污染缓解项目）可以取得显著的面源污染削减效果。当然在项目中也发现很多不足之处，特别是基础数据的缺乏为工作带来困难。但模型的优势之一就是可以通过有限的的数据建立直观的模型，并通过分析其不足以指引未来的工作方向和决策。本项目提出的建议之一就是当地的热点区域采集2、3年的实地水质水量数据，苏州方面已经有计划对东山高地茶果树开展这项工作。

