

流域水文水质 模拟软件(HSPF)应用指南

LIUYU SHUIWEN SHUIZHI MONI RUANJIAN (HSPF) YINGYONG ZHINAN

董延军 李 杰 郑江丽 石赟赟 编著



黄河水利出版社

流域水文水质模拟软件 (HSPF)应用指南

董延军 李 杰

编著

郑江丽 石赟赟

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共 14 章,第 1~6 章介绍以 HSPF 模型为核心的 BASINS4.0 系统软件功能使用;第 7~9 章介绍水文单元划分、水文率定校准和雪模块;第 10~14 章主要介绍水质部分。本书是在水利部 948 引进项目“流域水文水质模拟软件在珠江流域的推广应用”(合同号:200830)资助下完成的,是目前国内唯一介绍 HSPF 模型的著作。HSPF 模型与 SWAT 模型一样,也是模拟流域点源与非点源污染的重要工具,在海外特别是美国应用非常广泛。本书主要侧重于 HSPF 的应用,同时也适当兼顾 HSPF 模型的原理介绍。

本书适合于从事点源与非点源污染研究、流域环境管理和水文水资源研究的科研人员、大学教师以及相关专业的研究生阅读,也可供水土流失、生态科学等相关领域的专家学者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

流域水文水质模拟软件(HSPF)应用指南/董建军
等编著. —郑州:黄河水利出版社, 2009.10
ISBN 978-7-80734-735-4

I.流… II.董… III.①流域模型-水文实验-应用软件-指南②流域模型-水质模型-应用软件-指南
IV.P344-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183853 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15.5

字数:374 千字

版次:2009 年 10 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2009 年 10 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

序

为了缓解水资源面临的压力,适应现代水利发展的要求,传统的水管理观念和方法要转变和创新。21 世纪水资源管理的目标是确保人类系统、社会经济系统和生态系统可持续发展,因此研究和提出新的高效用水管理模式,实现水资源的可持续利用是摆在我们面前的一项亟需解决的重要课题。流域内实行水质与水量的统一管理是流域管理的一项重要内容。水量与水质的模拟技术是可持续水资源管理量化研究的基础,为流域水资源管理和调度提供技术支撑和保障。为解决这一问题,需要一个界面统一、功能完备、便于操作使用的计算机仿真平台,通过这个平台可以提供水量与水质的模拟,从而实现水资源管理的信息化、现代化和科学化。

水量与水质模拟的研究主要是通过两种途径:一是自主研发分布式物理水文模型,实现河道水质模拟计算;另一种途径是利用现成的软件,比如 SWMM、HSPF 和 SWAT 等软件实现水量和水质的模拟。研发分布式物理水文模型是一项技术复杂和成本很高的工作,而且目前国内分布式物理水文模型主要针对研究流域对象的特点自主研发,通用性较差,这些因素客观上制约了模型大范围的推广应用。因此,利用现成的软件特别是国外优秀的水文水质模拟软件,已经越来越成为流域水资源管理的重要手段和发展趋势。

HSPF 模型与 SWAT 模型一样,也是模拟流域水文水质、点源与非点源的工具软件。HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 模型于 1981 年由 Johanson 等提出,它起源于 SWM (Stanford Watershed Model) 斯坦福模型,是将数学方法应用于水文计算和预报而形成的流域水文模型。随后美国环保署 (USEPA) 又将非点源污染的多项研究成果集成到模型当中,一直发展到今天的 HSPF12.0 版本。HSPF 模型不仅能长时间模拟水文系列,也能模拟流域非点源污染和点源污染,是海外应用非常广的流域水文水质模拟软件。HSPF 功能虽然非常强大,但是在国内宣传甚少,使用者更是寥寥无几。这其中有一定认知问题,因此不能抹杀 HSPF 模型的推广和使用价值。我深信随着 HSPF 模型的普及和应用实践的不断深入,将会有越来越多的人发现 HSPF 模型的魅力和应用价值。

为了推动 HSPF 模型在国内的传播和普及,本书结合水利部 948 引进项目“流域水文水质模拟软件在珠江流域的推广应用”,较系统全面地介绍了 HSPF 模型的软件使用,并注重与理论实践相结合,具有较强的可读性和可操作性,是目前国内唯一介绍 HSPF 模型的著作,为广大读者提供了一个很好的 HSPF 模型学习教程。相信本书的出版能够有效地推动 HSPF 模型在流域水资源管理中的应用,增进研究交流,推动水文水资源、点源与非点源模拟等相关领域的科技创新,同时也会给 HSPF 模型的研究和使用人员提供很好的参考借鉴作用。

中国工程院院士



2009 年 9 月 17 日

前 言

由于人类活动的干扰和破坏,人类将面临由此引发的越来越多的环境问题,如全球气候变暖、水质恶化、水资源时空演变规律的变异等,而这种恶化的趋势还没有得到有效的遏制。环境问题导致的直接后果就是可能带来供水安全问题。譬如,一直以来珠江流域是我国水资源最为丰沛的地区之一,但是由于近年来珠江流域上游贵州、云南、广西等地社会经济快速发展,需水量日益增加,而造成径流下泄流量减少。与此同时,全球变暖引发海平面上升,这两种因素共同作用造成珠江三角洲在枯水期的咸潮上溯入侵问题。咸潮上溯引发了珠江三角洲地区(特别是澳门、珠海)的供水安全问题。为此,水利部珠江水利委员会从2005年12月开始连续几年实施调水压咸的战略,通过上游骨干水库的联合调度,加大上游径流下泄流量,抵御咸潮的危害。由此可见,环境问题是制约社会经济可持续发展的最重要因素,解决环境问题也将是人类在新世纪面临的最重要的挑战。

为了应对这种挑战,掌握水文循环模拟和与此伴生的水质模拟的方法及原理则是解决环境问题的一把最重要的钥匙,特别是更大尺度的流域水文水质的模拟。在国外,流域水文水质模拟发展比较早,相对成熟、完善,现在已转向向软件集成化方向发展,这方面有大家所熟知的 SWAT 模型、HSPF 模型和 Mike SHE 模型等。在国内,长期以来主要关注的水文模拟,从最早的以新安江模型为代表的集总式模型到今天以 WEP 为代表的流域分布式物理模型,其发展速度非常快,特别是对分布式水文模型的研究方兴未艾,许多高校和研究所都在开展这方面的研究。随着环境问题越来越突出,国内的研究方向正在从单纯的水量模拟转向水量与水质耦合条件下的流域水文水质模拟。所以,在可预见的将来,开展分布式水文模型的研究大有用途。

分布式水文模型是从物理机制上用数学方法描述水文循环过程,将一个流域划分成网格或者水文响应单元,也就是将一个流域离散成若干个细小单元,在每个细小单元上进行水文模拟,然后再集成,目的是通过流域的离散以获得更精确的物理模拟。然而,分布式水文模型需要大量基础数据的支撑,为了减少数据量或者增加模型运算速度,模型设计者同时又需要作一些必要的简化,但这一简化客观上影响分布式模型模拟的精度和效果,也就是大家常说的分布式模型模拟的效果不一定比得上集总式模型的原因。因此笔者认为,从实用的角度出发,水文模拟的发展方向应是分布式模拟与集总式模拟相结合,即半分布式模型。HSPF 模型就是这种半分布式模型的优秀代表。HSPF 模型属于集总式水文模型,但又不同于传统的集总式模型,它结合了分布式水文模型和其他非流域模型的一些优点,主要表现在以下几个方面:

第一,该模型的新版本(HSPF12.0)程序集成于 BASINS4.0 系统平台,既可以利用 DEM 数字高程技术完成地形自动提取、子流域切割和河道水系生成,又能实现土壤、土地利用/覆盖等数据的叠加分析,从而取代以往的手动录入。

第二,它可以根据实际情况调整水文响应单元大小以满足科研和应用的不同需求,并以此在重视流域内部差异性的前提下一定程度地减小运算负担。

第三, 每个子流域虽然独立进行水文响应单元构建以及径流模拟运算, 但彼此间相互联系且具有承接关系。

第四, HSPF 模型能模拟一个动态、连续的降水径流过程, 按某一尺度进行空间划分, 每一个小区域均在模拟具有方向性的静态和连续的降水、下渗等运动, 这样避免了类似分布式结构假定函数与实际不符而造成的错误。

第五, HSPF 模型相较于 SWAT 模型而言, 能模拟时间尺度为小时的产汇流分析, 因而可运用于洪水分析, 而 SWAT 模型模拟的最小时间尺度为天。

第六, GenScn 的应用降低了数据输出对比和模型参数调整操作的烦琐度。

这些年, 由于国内水文模型研究刚从集总式模型向分布式模型转变, 很多人过分迷信纯分布式水文模型的应用, 一提起集总式模型似乎不大有兴趣。因此, 国内主要以 SWAT 模型应用居多, 而且已有大量的成果问世。尽管 HSPF 模型在海外, 特别是美国, 应用非常广, 但在国内应用极少, 不过我们不能因此而抹杀 HSPF 模型的应用价值。HSPF 模型与 SWAT 模型各有千秋, 模拟的精度和效果十分接近。HSPF 模型已嵌入 BASINS4.0 系统中的 WinHSPF 软件, 而且具有功能完备的前后处理工具, 更重要的是 HSPF 模型有独立的应用界面, 方便用户使用, 这一点优于 SWAT 模型, SWAT 模型必须置于 ArcView 环境中。此外, HSPF 模型有很多的先进设计理念, 可为推动国内流域水文水质模型的软件集成化提供帮助。到目前为止, HSPF 模型是开放式的模型, 美国环保署在网站 (<http://www.epa.gov/waterscience/basins/training.htm>) 上免费提供许多培训教程和源代码, 这极大地方便了用户的学习。本书的出版正是为了推动 HSPF 模型在国内的普及与应用。

本书由董延军任主编, 李杰、郑江丽、石赟赟任副主编, 具体分工情况为: 前言、第 1~3 章、第 5~8 章由董延军编写; 第 4、10 章由石赟赟编写; 第 9、13、14 章由郑江丽编写; 第 11、12 章由李杰编写。珠江水利科学研究院流域规划室的其他同事马志鹏、严黎、熊静、余金参与了编译和校稿工作, 并绘制了部分图形, 最后由董延军统稿和定稿。

本书的研究成果是在水利部 948 引进项目“流域水文水质模拟软件在珠江流域的推广应用”(合同号: 200830) 资助下完成的。在本书的出版过程中, 得到了珠江水利科学研究院副院长王琳、科技计划处处长罗丹的大力支持, 中国工程院院士王浩亲自为本书作序, 并提出了宝贵的意见和建议, 在此一并致谢。

由于成书时间仓促, 加上作者水平有限, 书中的不足和错误在所难免, 希望读者不吝赐教。相关建议可发电子邮件至 hspf@163.com。

编 者

2009 年 6 月于广州

目 录

第 1 章 HSPF 模型介绍	(1)
1.1 HSPF 模型简介	(2)
1.2 HSPF 模型组织结构	(3)
1.3 HSPF 模型功能特点	(8)
1.4 内容结构与使用方法	(12)
第 2 章 HSPF 模型系列软件安装过程	(13)
2.1 HSPF 模型系列软件安装条件	(13)
2.2 HSPF 模型系列软件安装准备	(13)
2.3 HSPF 模型系列软件安装过程	(13)
第 3 章 BASINS 应用基础	(18)
3.1 BASINS4.0 用户界面基本介绍	(18)
3.2 创建 BASINS 工程文件	(19)
3.3 加载图层文件	(22)
3.4 在 BASINS4.0 GIS 环境下浏览图层文件	(23)
第 4 章 BASINS GIS 环境下流域分割	(27)
4.1 流域自动划分(Automatic Delineation)	(27)
4.2 流域手动划分(Manually Delineation)	(32)
4.3 编辑子流域边界	(35)
4.4 设置河网(Define Stream Network)	(36)
第 5 章 WDMUtil 工具使用介绍	(39)
5.1 创建新的 WDM 文件	(39)
5.2 WDMUtil 导入气象数据	(41)
5.3 创建脚本	(44)
5.4 运用 WDMUtil 工具计算和分解数据系列	(49)
第 6 章 WinHSPF 与 GenScn 使用介绍	(56)
6.1 导入图层文件	(56)
6.2 从 BASINS 向 WinHSPF 跳转	(58)
6.3 WinHSPF 工具使用	(62)
6.4 运行 WinHSPF	(75)
6.5 GenScn 工具的使用	(76)
6.6 浏览 ECHO 文件	(79)
第 7 章 空间离散与空间异质性	(80)
7.1 空间离散与空间异质性的含义	(80)
7.2 以气象分布变异划分水文响应单元	(83)
7.3 以物理特性变异划分水文响应单元	(85)

7.4	流域分割与水文响应划分的关系	(86)
7.5	增加气象分割单元(Met Segment)	(87)
7.6	浏览气象响应单元(View Met Segment)	(90)
7.7	河段分割	(91)
第 8 章	HSPF 模型水文率定原理与方法	(98)
8.1	WinHSPF 工具使用详解	(98)
8.2	率定前的准备工作	(107)
8.3	LZSN 和 UZSN 调参	(111)
8.4	INFILT 和 LZETP 调参	(119)
8.5	KVARY 和 AGWRC 调参	(122)
8.6	INTFW 和 IRC 调参	(122)
8.7	率定其他注意事项	(125)
第 9 章	积雪以及融雪的模拟	(128)
9.1	温度指标法	(128)
9.2	能量平衡法	(142)
第 10 章	泥沙侵蚀与输移	(165)
10.1	水文模型中添加泥沙模块	(166)
10.2	分片决定泥沙输出量	(176)
10.3	泥沙侵蚀率定问题	(182)
第 11 章	泥沙的输移校准率定	(186)
11.1	模拟 Reach 5 的切应力(TAU)	(186)
11.2	泥沙输移率定的步骤	(191)
11.3	增加泥沙点源	(196)
第 12 章	细菌和温度模拟	(202)
12.1	“Bacterial Indicator Tool”的使用	(202)
12.2	模拟细菌	(205)
12.3	校准温度与大肠杆菌	(210)
12.4	其他校准问题	(213)
第 13 章	营养物质、溶解氧和浮藻的模拟	(215)
13.1	增加营养物质、溶解氧、浮藻等成分的模拟	(215)
13.2	流域营养物质和 BOD 有机负荷的输入	(218)
13.3	水体中营养物质、DO 和藻类的模拟	(221)
13.4	选择输出序列	(221)
13.5	营养物质、溶解氧、浮藻的校准	(227)
第 14 章	水质模块的校准	(229)
14.1	检查模型的最初结果	(229)
14.2	河道外模块参数的调整	(236)
14.3	河道内模块参数的调整	(237)
14.4	整体调整参数	(238)
参考文献		(239)

第 1 章 HSPF 模型介绍

本章主要学习内容

- HSPF 模型简介。
- HSPF 模型组织结构。
- HSPF 模型功能特点。

水文模型是水文学发展到一定阶段的产物，是描述和反映自然界中复杂水文现象的一种手段，是定量模拟水文现象特征量及其过程变化的一种有效工具。它既是水文科学研究中的一种比较实用的方法，又是当前水文科学研究和应用的重点、难点和热点之一，不仅丰富了水文学的研究体系和研究手段，而且随着水文学、计算机科学的发展而发展，促进了水文学的总体发展。

流域水文模型是水文模型的一种类别，它将流域概化为一个系统，研究流域的输入因素(降雨、蒸发、前期含水量等)与径流输出因素(洪量、洪峰流量等)之间的数学关系和逻辑表达式，使其能够在一定的目标下代替实际水文系统，对流域的行为进行模拟和预测。目前，流域水文模型已成为降雨径流计算的一种重要途径，不仅在实际应用中获得了很大的成绩，还推动了水文预报和相关学科的发展。

按模型构建的机理分类，流域水文模型可分为物理模型、概念型模型和黑箱模型。若一个模型的每个关系式均是严格以物理定律为基础的，则该模型为物理模型；若一个模型的结构、参数都具有物理意义，但其结构不是严格以物理定律为基础的，则该模型是概念型模型；若一个模型的关系式无任何物理意义，则该模型是黑箱模型。

按对流域水文过程描述的离散程度分类，流域水文模型可分为集总式模型、分布式模型和半分布式模型。集总式模型最基本的特征是将流域作为一个整体来描述或模拟降雨径流形成过程；分布式模型最基本的特征是按流域各处气候信息(降雨)和下垫面特性(如地形、土壤、植被、土地利用)要素信息的不同将流域划分成若干小单元，在每一个小单元上用一组参数反映其流域特征，具有从物理机制上考虑降雨和下垫面条件时空分布不均匀对流域降雨径流形成影响的功能；半分布式模型也称松散耦合式分布式模型，其主要特点是在每一个水文模拟的小单元上应用概念性集总式模型来计算净雨，再进行汇流演算，计算出流域出口断面的流量过程。

目前，国内外流域水文模型很多，但应用最多、影响最大、发展最快的主要还是概念型流域水文模型，如国内的新安江模型、日本的 TANK 模型和美国的斯坦福模型等。随着计算机技术和遥感技术的迅速发展，尽管分布式模型方兴未艾，但其研制与开发已成为水文水资源研究领域的一个热点话题。由于流域模拟问题的高度复杂性，纯粹意义上的分布式物理水文模型需要大量的水文、气象、土壤、水质等基础数据的支持，在实际应用中不便推行，即使用偏微分方程等数学工具描述水文现象，也面临着一些参数的经验处理问题，

因此在实践中半分布式水文模型具有更广阔的应用前景和更大的推广价值。一些国家已将其核心模型技术成功地进行软件打包, 发展成为便于用户操作的应用软件, 广泛应用于流域管理与决策部门, 如美国的 SWAT(Soil Water and Assessment Tools)、HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran)和 LSPC>Loading Simulation Program in C++)等模型软件技术。本书重点介绍 HSPF 模型软件技术的应用。HSPF 模型于 1981 年由 Robert Carl Johanson (HSPF 模型之父)提出, 它起源于 1966 年 SWM(Stanford Watershed Model)斯坦福模型, 是将数学方法应用于水文计算和水文预报形成的流域水文模型。HSPF 模型软件不仅能长时间模拟水文系列, 也能模拟流域面源污染和点源污染, 是国外应用非常广的流域水文水质模拟软件。HSPF 模型软件功能虽然非常强大, 但是在国内宣传甚少, 使用者更是寥寥无几。不过笔者认为, 使用者少不等于 HSPF 模型软件没有生命力。国内外尤其是国内, 更多人关注物理机制的分布式水文模型, 物理机制的分布式水文模型虽然更完善地描述水文过程, 但是纯粹的物理模型却需要大量的基础数据和参数验证工作, 人为假定等因素客观上使物理机制的分布式水文模型的模拟效果等有更多的经验因素在里面。因此, 半分布式水文模型比纯粹的物理模型更具有生命力和实践性。HSPF 模型就是半分布式水文模型中的优秀代表, 它不仅描述水文过程, 而且可以模拟非点源和点源演进过程, 在国外, 尤其在美国, 应用非常广泛。HSPF 模型与 SWAT 模型一样, 也是功能强大, 并且独立运行界面的点源与非点源模拟工具软件。HSPF 模型模拟水质成分与水文耦合过程如图 1.1 所示。

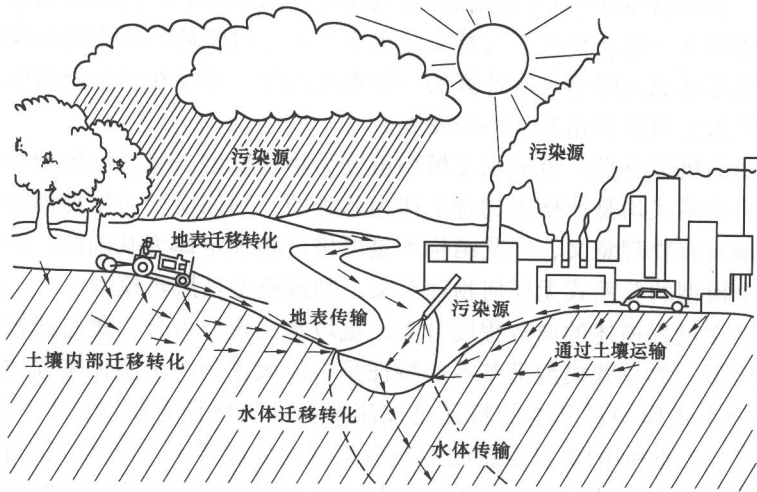


图 1.1 HSPF 模型模拟水质成分与水文耦合过程示意图

1.1 HSPF 模型简介

美国环保署(USEPA)多年来长期致力于研发关于流域污染方面的数学模型以预测环境灾害, HSPF 模型大量应用于模拟人为因素影响下的自然水系统的水情和水质, 并随着应用实践, 模型逐步得到完善和发展, 目前已发展成为比较成熟的 BASINS4.0 系统。BASINS 系统(Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources)于 1988 年由美国环

保署开发完成,是一套基于 GIS 技术的整合式平台,内嵌了 HSPF、SWAT、PLOAD、AGWA 等水文模型和 WDMUtil、GenScn 等辅助工具。通过 BASINS 系统, HSPF 模型成功地捆绑于拥有众多插件、功能强大的 BASINS 系统中,从而为该模型所需的地形、地貌、土地利用/覆被、土壤、流域等数据的自动生成和叠加处理提供了更加方便、精准的手段,同时延长了数据处理、模拟预测的时间序列长度。

此外, HSPF 模型结合了美国环保署多项非点源污染模型研究成果,集成了 HSP、ARM、NPS 等模块,其中 HSP 模块为集水式水文模式,水文仿真功能强大且精确度高,而 ARM 模块和 NPS 模块的功能在于针对农业区的非点源污染模拟。HSPF 模型提供水解、氧化、光解、生物降解、挥发和吸收等 6 种沉积化学作用模式,并结合水动力学实现砂、粉砂和黏土三种沉积物以及 BOD、DO、氮、磷、农药等多种污染物的地表径流、壤中径流过程和蓄积、迁移、转化的综合模拟,是国际认可模拟流域非点源污染效果最好的模型之一,在国际水旱灾害防治、水环境监测、水资源开发利用中得到了广泛应用。由于受到 HSPF 模型运行需要大量基础数据等方面的影响,关于 HSPF 模型的研究在我国还处于起步阶段。本书中所采用的 WinHSPF12.0 软件同样嵌入于 BASINS4.0 系统,该软件是 HSPF 模型最新视窗交互式版本,它与 BASINS 系统以及 WDMUtil、GenScn 等辅助工具共同构成了该项研究的模拟工具主体。

1.2 HSPF 模型组织结构

HSPF 模型内嵌于 BASINS 系统平台中,由 4 个重要部分组成:①GIS 集成分析工具(BASINS GIS);②工具分析软件(WDMUtil、HSPFParm);③流域水文模型(WinHSPF、SWAT、AGWA、PLOAD);④决策支持分析工具(GenScn)。总体结构如图 1.2 所示。

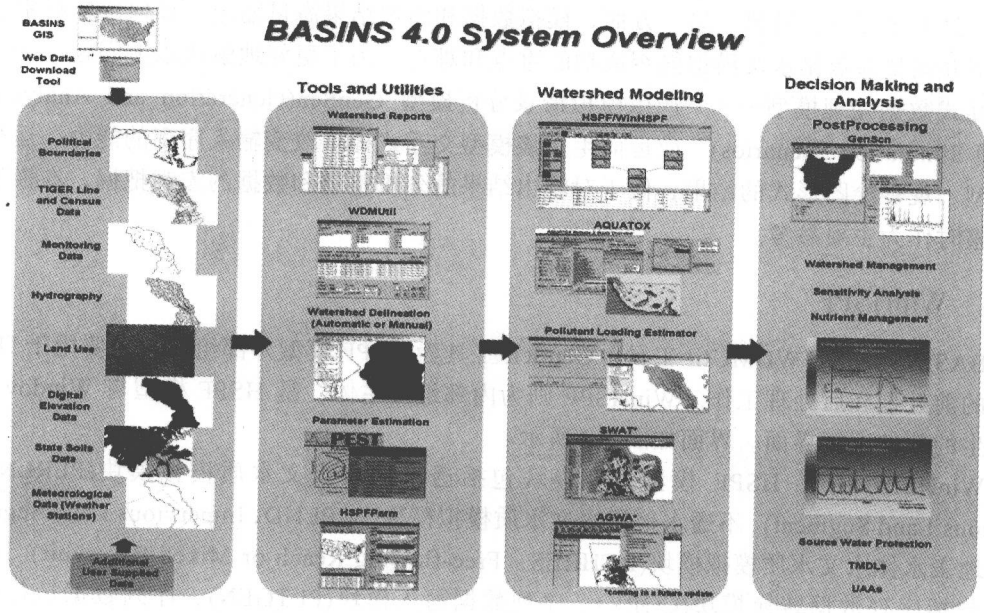


图 1.2 BASINS4.0 系统组成

1.2.1 BASINS GIS

BASINS4.0 系统由美国环保署组织开发完成,该系统将 ArcView 提供的 Dialog Desinger、Geopogressing、Spatial Analyst 等 GIS 核心插件与水文模型整合起来,自动叠加和处理 DEM、Soil、LUCC 数据,表征地形、地貌、覆被特性,并设定参数,提取河段信息,完成水文响应单元准备,为系统内嵌的 SWAT、HSPF、PLOAD、AGWA 等 4 个水文模型提供完备的空间属性数据信息。

在完成 BASINS GIS 的前期数据准备和分析任务后,可以自动跳转到 WinHSPF、SWAT 或者 PLOAD 软件界面。

1.2.2 WDMUtil 工具

WDMUtil 程序由美国环保署科学技术所(USEPA's Office of Science and Technology)组织研发,主要用于时间序列文件的检验、运行以及 WDM 文件的生成。BASINS 与 WinHSPF 使用的时间序列数据结构为 WDM 格式(Watershed Data Management),WDMUtil 就是管理 WDM 数据的有效分析处理工具,可以分解与合成新的时间序列数据,也可以填补、完善原有序列数据中缺失的数据。WDMUtil 工具是运行 HSPF 模型不可缺少的重要工具之一。

1.2.3 GenScn 工具

分析与流域模型大量复杂的输入和输出数据是一项艰巨的任务。一方面, HSPF 模型数据的传统方式为手动录入,通过运用 Word、Notebook 等文字编辑器构建数据输入序列来描述流域的物理机理和水文管理特性,即使流域背景不很复杂,也往往需要输入数千行,且工序复杂、易错。另一方面,模拟数据和图像结果海量输出,如何加以辨别、如何分析并调整参数是水文模拟能否成功的重点和难点。为了更好地解决以上问题,一项人机交互式数据处理模型——“产生模拟情景分析模型 GenScn(Generation and Analysis of Model Simulation Scenarios)”应运而生,该模型交互式提供改变输入序列的能力、运行水文模型、观察绘图形式的结果,便于对输出结果的分析整理和数据的宏观把握,在模型参数调整时作为主要参考。

1.2.4 WinHSPF

BASINS GIS、WDMUtil 工具、GenScn 工具为 HSPF 模型外部组件,主要用于 HSPF 模型的前处理和后处理工作。WinHSPF 则为内部组件主体,是 HSPF 模型与 Windows 结合产生的软件运行界面。界面如图 1.3 所示。

WinHSPF 内核 HSPF 模型主要模块包括透水地段水文水质模拟模块(PERLND, Pervious Land Segment)、不透水地段水文水质模拟模块(IMPLND, Impervious Land Segment)以及地表水体水文水质模拟模块(RCHRES, Free-flowing Reach or Mixed Reservoir)。辅助模块包括序列数据转换模块(COPY)、序列数据写入模块(PLTGEN)、序列数据运行模块(GENER)以及优化管理模块(BMP)。

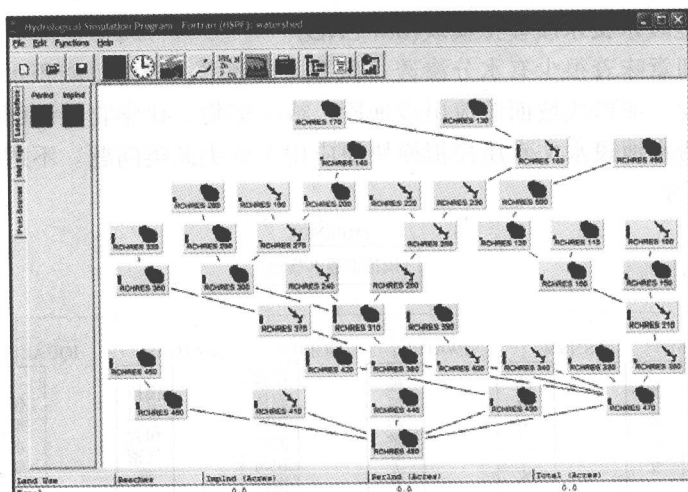


图 1.3 WinHSPF 运行主界面

1.2.4.1 透水地段水文水质模拟模块(PERLND)

透水地段水文水质模拟模块适用于 HSPF 模型的子流域透水部分。径流通过坡面流或者其他方式汇入河流或水库中，从而实现该地段水、颗粒沉积物、化学污染物、有机物质的运移。该模块主要子模块包括积雪消融子模块(SNOW)、水文子模块(PWATER)、地表土壤侵蚀沉积物子模块(SEDMNT)、多种水质变化模拟子模块(PQUAL)及一些农业化学子模块，而其他子模块则体现了一些辅助功能，如 ATEMP 空气温度设定和修正子模块不仅用于融雪和土壤温度计算，还生成了 PSTEMP 土壤温度子模块所需的数据，而这些空气、土壤的温度数据是估算河川径流出口流量温度的关键参数，并且对于模拟水中不同化学物质反应速率、估算出口水含氧量、二氧化碳含量起着重要作用。透水面积计算模块结构图如图 1.4 所示。

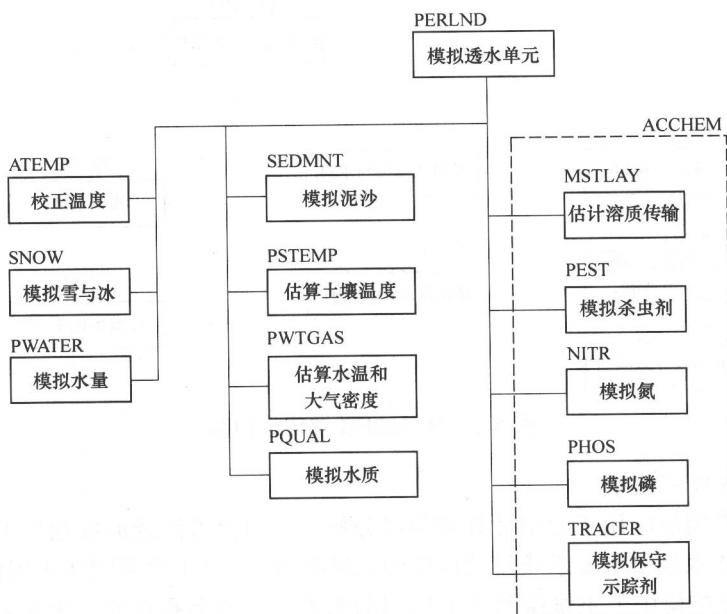


图 1.4 透水面积计算模块结构图

1.2.4.2 不透水地段水文水质模拟模块(IMPLND)

不透水地段即意味着很少有水分渗透，积雪虽会融水，降雨也能积水，但均只贮存于地表，并最终蒸发，或形成坡面流流出该地段；或沉淀物、化学物沿坡面流向更低处，并在低处汇集。不透水地段水文水质模拟模块便应用于解决此类问题。不透水面积计算模块结构图如图 1.5 所示。

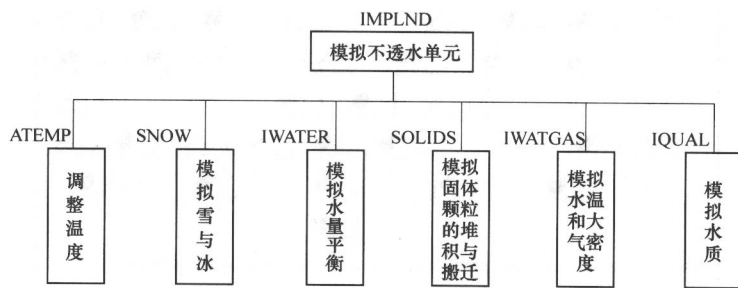


图 1.5 不透水面积计算模块结构图

1.2.4.3 地表水体水文水质模拟模块(RCHRES)

地表水体水文水质模拟模块用于模拟单一开放式河流、封闭式渠道或湖泊、水库等水体，通常也把模拟的河段或是水库叫做一个地表水体水文水质模拟模块，它是一个拥有入口、出口两点对象作为界限的区对象，也是 BASINS 系统划分子流域所生成子区中的河流均为单一河段的原因之一。在地表水体水文水质模拟模块中，水流以及其他化学元素、杂质均为单向流动，入口物质一部分到达出口，余下的滞留；出口接纳既包括入口水流挟带的物质，也包括该子流域经溶解、冲刷重新加入的物质。该复杂过程充斥着全部地表水体水文水质模拟模块，各地表水体水文水质模拟模块不仅相互作用，而且首尾连接成为一体，展现了整个流域特征。RCHRES 模块结构图如图 1.6 所示。

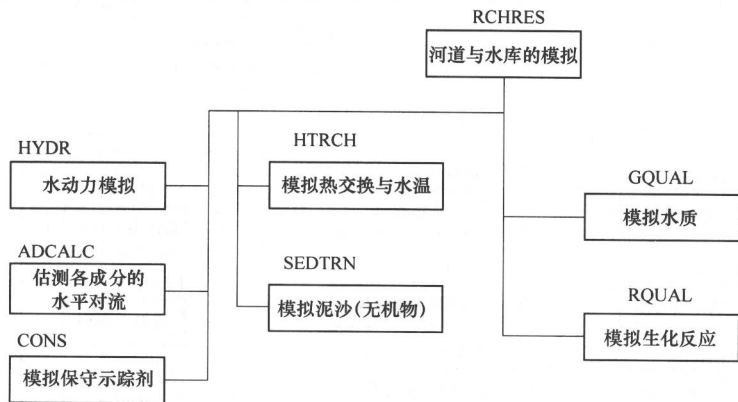


图 1.6 RCHRES 模块结构图

1.2.4.4 PWATER 子模块

PWATER 子模块应用于水量计算和构成分析，是预报可渗透流域地段出口的河川径流总量的关键，是透水地段水文水质模拟模块的运转基础，也是本次研究所采用的核心子模块。

PWATER 子模块中上土壤层和下土壤层的水蓄积只有名称区别，而无明显界限，水分子在两层中自由活动。该蓄积过程被赋予了平缓的过渡——模型中到达下土壤层的水被计

算到土壤水分蒸发蒸腾损失总量中；有效地下水流动则形成了基流(Baseflow)，这部分水也可能被计算在土壤水分蒸发蒸腾损失总量中，但是更深层次的渗透被认为是模拟系统损失。水的蓄积同样造成土壤水分蒸发蒸腾损失总量的减小，蒸发量将根据植物截流蓄积、上土壤层蓄积、下土壤层蓄积、有效地下水蓄积和基流进行模拟。

由外部侧流的汇入形成的壤中流以及上土壤层、下土壤层和有效地下水蓄积过程也能够 在 PWATER 子模块中实现。当上坡地段与相邻的下坡地段由于显著不同而被区分开，并且二者之间没有河槽相连接的时候，HSPF 模型将自动调用 PWATER 子模块中的侧流机制来进行模拟。

PWATER 子模块内嵌包括 SURFAC、DISPOS、UZONE、INTFLW、LZONE、GWATER、EVAPT 等子程序，此外其还链接了其他一些相关辅助子程序，共同构成了 PWATER 子模块(见表 1.1)。

表 1.1 PWATER 子模块的内嵌子程序

子程序名称	功能
ICEPT	植物及其他地表附着物对降水截留的过程模拟
SURFAC	地表水下渗、蓄积、坡面漫流的过程模拟
DISPOS	确定降水达到地面形成地表水滞留后水量的分配
UZINF	源于地表水下渗的上土壤层滞留水形成壤中流的过程模拟
PROUTE	未下渗的地表滞留水形成直接径流的过程模拟
INTFLW	地表水下渗或侧流形成壤中流的过程模拟，特别是薄壤区的暴雨过程
UZONE	上土壤层滞留水向更深层下渗的水量计算
LZONE	滞后下渗至下土壤层的水量计算
ETUZON	上土壤层滞留水蓄积的水量计算
GWATER	确定地下水滞留形成地下水流、蓄积以及向更深层下渗损失的水量分配
EVAPT	所有层面水蒸散发的过程模拟以及水损失量的计算

HSPF 模型中各部分相互作用，形成一个有机的整体。其中，WinHSPF(HSPF)是核心，其他各部分都是直接或间接为 HSPF 模型服务的。HSPF 模型中各部分相互作用关系如图 1.7 所示。

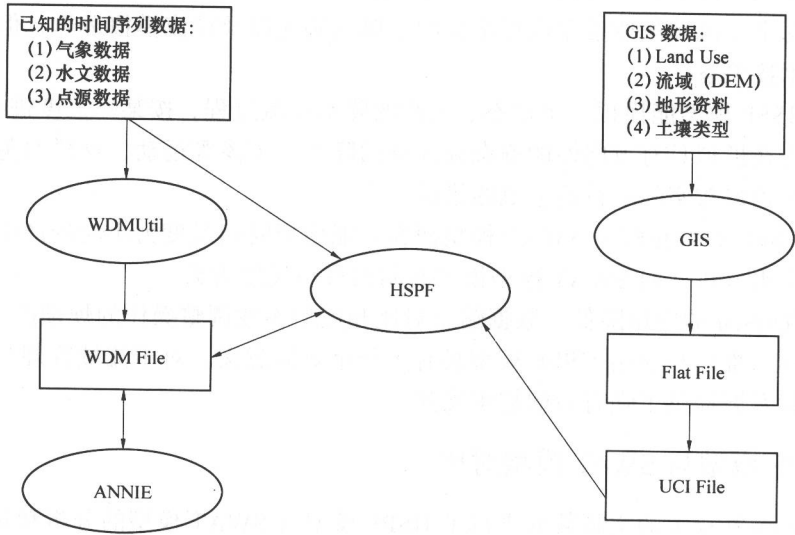


图 1.7 HSPF 模型中各部分相互作用关系

1.3 HSPF 模型功能特点

1.3.1 HSPF 模型的推广应用价值

为了缓解水资源面临的压力,适应现代水利发展的要求,传统的水管理观念与方法要转变和创新。21 世纪水资源管理的目标是确保人类系统、社会经济系统和生态系统可持续发展,因此研究和提出新的高效用水管理模式、实现水资源的可持续利用是摆在我们面前的一项亟需解决的重要课题。流域内实行水量与水质的统一管理是流域管理的一项重要内容。水量与水质的模拟技术是可持续水资源管理量化研究的基础,为流域水资源管理和调度提供技术支撑和保障。

为解决这一问题,需要一个界面统一、功能完备、操作使用方便的计算机仿真平台,通过这个平台提供水量与水质的模拟,以实现水资源管理的信息化、现代化和科学化,为流域水资源管理和决策提供有力的技术支撑。从这个意义上说,开展这个项目不仅有利于推动我国流域,特别是水环境污染严重的地区的管理和建设,也有利于国内科技人员了解、学习、吸收、跟踪国外先进技术。水量与水质模拟的研究主要通过两种途径:①借助于分布式物理水文模型实现河道水质模拟计算;②利用国外现成的软件,比如 SWMM、HSPF 和 SWAT 等软件,实现水量与水质的模拟。

HSPF 模型从特征上分类,属于集总式水文模型,却又不同于传统的集总式模型,它结合了分布式水文模型和其他非流域模型的一些优点,主要表现在以下几个方面:

第一,该模型的新版本(HSPF12.0)程序集成于 BASINS4.0 系统平台,既可以利用 DEM 数字高程技术完成地形自动提取、子流域切割和河道水系生成,又能实现土壤、土地利用/覆盖等数据的叠加分析,从而取代以往的手动录入。

第二,它可以根据实际情况调整水文响应单元大小以满足科研和应用的不同需求,并以此在重视流域内部差异性的前提下一定程度地减小运算负担。

第三,每个子流域虽然独立进行水文响应单元构建以及径流模拟运算,但彼此间相互联系而具有承接关系。

第四,HSPF 模型能模拟一个动态、连续的降水径流过程,按某一尺度进行空间划分,每一小区域均在模拟具有方向性的静态和连续的降水、下渗等运动,这样避免了类似分布式的结构假定函数与实际不符而造成的错误。

第五,HSPF 模型相较于 SWAT 模型而言,能模拟时间尺度为小时的产汇流分析,因而可运用于洪水分析,而 SWAT 模型模拟时间的最小尺度为天。

第六,GenScn 的应用降低了数据输出对比和模型参数调整操作的烦琐度。

综上所述,推广与应用 HSPF 模型具有十分重要的意义。对于流域管理与规划,其为流域的可持续发展提供了强有力的技术支撑。

1.3.2 HSPF 模型与 SWAT 模型对比

本书参考国外相关的文献数据进行了 HSPF 模型与 SWAT 模型的分析 and 对比。

1.3.2.1 水文模拟 (Hydrology Simulation)对比

表 1.2 表示在各个流域的水文模拟的结果对比。从表 1.2 中数据来看, 校准期 HSPF 模型与 SWAT 模型计算的数据相差不大, 没有显著的优劣差别。以子流域 QPE 为例, HSPF 模型的相对误差为 3.4%, 而 SWAT 模型的相对误差为-2.1%。HSPF 模型年径流相关系数的范围为 0.86~0.89, 比 SWAT 模型(0.81~0.84)略好一些。在验证期, HSPF 模型模拟月径流量的相对误差为-14.7%~9.1%, SWAT 模型的相对误差为-13.3%~24.4%。图 1.8 表示在校准期, 子流域 QPE 的月径流量模拟对比情况。

表 1.2 各个子流域水文模拟对比分析

时期 (年·月)	子流域 名称	年径流总量(mm/a)			相对误差(%)		相关系数	
		观测值	HSPF 模型	SWAT 模型	HSPF 模型	SWAT 模型	HSPF 模型	SWAT 模型
校准期 (1996.9~2000.6)	QPB	332	333	334	0.3	0.6	0.87	0.81
	QPD	389	339	388	-12.8	-0.2	0.86	0.84
	QPE	381	394	373	3.4	-2.1	0.89	0.84
验证期 (1994.10~1995.12)	QPB	178	175	197	-1.7	10.7	0.83	0.73
	QPD	164	179	204	9.1	24.4	0.89	0.67
	QPE	211	180	183	-14.7	-13.3	0.94	0.73

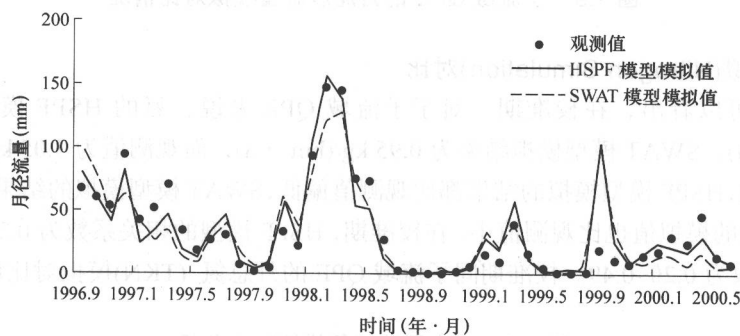


图 1.8 校准期子流域 QPE 的月径流量模拟对比情况

根据表 1.2 和图 1.8 的对比情况, SWAT 模型和 HSPF 模型模拟的情况都还不错, 而且模拟的精度都很接近, 没有优劣之分。

1.3.2.2 泥沙模拟(Sediment Simulation)对比

从表 1.3 可以看出, 在校准期, 对于子流域 QPB 和子流域 QPE 来说, 泥沙的模拟相当理想, 子流域 QPB 的相对误差为-8.1%, 子流域 QPE 的误差为 0.4%, 除子流域 QPD 外, 校准期模拟的效果非常好, 模拟值非常接近观测值, 这一点比 SWAT 模型模拟的效果要好; SWAT 模型模拟的相对误差为-82.3%~13.9%。校准期, 子流域 QPE 的月泥沙总量模拟对比情况如图 1.9 所示。

在验证期, HSPF 模型模拟泥沙的相对误差, 子流域 QPE 为 17.9%; SWAT 模型模拟泥沙的相关系数, 子流域 QPB 为 0.71, 子流域 QPD 为 0.64, 子流域 QPE 为 0.71。