

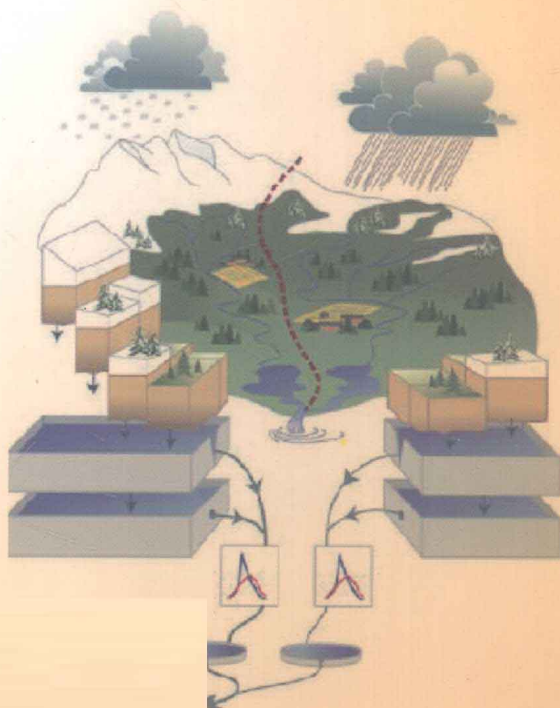
Soil and Water Integrated Model

SWIM

模型使用指南

Valentina Krysanova
Frank Wechsung
Jeff Arnold
Ragavan Srinivasan
Jimmy Williams
著

苏布达 曹丽格 翟建青 方玉
谈丰 郭媛 刘长坤 高超 李修仓
译校



SWIM 模型使用指南

(德) Valentina Krysanova, Frank Wechsung

著

(美) Jeff Arnold, Ragavan Srinivasan, Jimmy Williams

苏布达 曹丽格 翟建青 方 玉 谈 丰 译校
郭 媛 刘长坤 高 超 李修仓

内容简介

SWIM 模型是在 SWAT 和 MATSALU 模型基础上开发的模拟工具,综合了流域尺度的水文、植被、侵蚀和养分动态过程,为中、大尺度的水文水质模拟提供了基于地理信息系统的实用工具。为开展水资源管理提供了有力工具,同时也有助于开展气候变化和土地利用/覆盖变化对水资源现状的影响及对策研究。本书分为四章,从模型概述、组件描述、代码结构到准备运行,为读者全面介绍了 SWIM 的基本理论以及模型应用,可供有关专业的学生和专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

SWIM 模型使用指南/(德)克蕾索瓦(Krysanova, V.)等著;苏布达等译校.
北京:气象出版社,2011.3

ISBN 978-7-5029-5185-6

I. ①S… II. ①克…②苏… III. ①水文气象学-数学模型-指南
IV. ①P339-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 038611 号

SWIM 模型使用指南

Valentina Krysanova, Frank Wechsung, Jeff Arnold, Ragavan Srinivasan and Jimmy Williams 著
苏布达 等译校

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:张锐锐 李太宇

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm 1/16

字 数:314 千字

版 次:2011 年 4 月第 1 版

定 价:35.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68406961

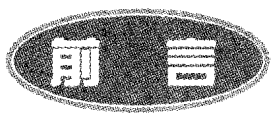
E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:12

印 次:2011 年 4 月第 1 次印刷



20 世纪以来,全球水资源危机日益突出。水资源与农业、生态系统和社会经济其他部门的密切关系,使之成为社会经济可持续发展关注的重点问题。气候变化直接导致和影响到流域水资源变化,而气候变化对水资源的影响既是气候变化领域研究的热点问题,也是水文水资源研究的重点问题。为了适应气候变化和人类活动影响下的水文水资源研究之需,特别是随着计算机、地理信息系统、遥感等信息技术的发展,以物理概念为基础的分布式水文模型取得了很大进展,SWAT(Soil and Water Assessment Tool)等在内的一系列水文模型得到广泛应用。SWIM(Soil and Water Integrated Model)模型作为分布式/半分布式水文模型的一个典型代表,基于 SWAT 和 MATSALU 模型开发而成,是一个集成了水文、植被、土壤侵蚀和氮元素迁移转化动力学原理的中尺度流域模型。

SWIM 模型是描述和揭示流域水文过程和规律,研究气候变化影响的一个有效途径,也是研究气候、水文、生态和环境问题的重要工具。用于人口稠密的农业区(水污染问题)、干旱半干旱地区(缺水问题)和山区及黄土地区(侵蚀问题)进行水资源管理的研究,以及当前的气候变化和土地利用/覆盖变化现状对水文水资源的可能影响研究。模型为研究全球气候变化背景下水资源的演变,特别是为中、大尺度(即几百、几千或几万平方千米)流域的基本水文过程和其他相关过程的研究提供了有效工具。目前,国际地圈—生物圈计划(IGBP)框架体系中的水文循环的生物圈方面(BAHC)研究面临一个重大挑战,就是对不同尺度的气候、水文和生态过程之间复杂的相互作用进行合适的描述和模型化。SWIM 模型能够很好地描述基本的生态水文过程。因此,学习 SWIM 模型对于研究气候、水文、农林业等领域具有重要的意

义。SWIM 模型已在德国易北河和欧洲多条河流流域得到成功的应用,对流域的水文、作物生长、氮和土壤侵蚀过程进行了测试和验证,并在国际上发表了近 100 篇文献。目前该模型已应用于我国的海河官厅流域水和农业土地利用的可持续发展,珠江流域和鄱阳湖流域气候变化对水文水资源的影响等项目,并将在评估流域水、土资源优化开发利用和气候变化对水文循环的影响,流域上游水源地的供水安全以及流域长期社会经济发展规划中发挥作用。

国家气候中心近年致力于气候及气候变化影响评估,积极研发、总结气候变化预估数据和影响评估方法,不仅为国内外从事这方面工作的科研业务人员及单位提供了数据支持,还探索区域尺度上的气候变化影响评估科学方法,并开展了一系列气候变化影响综合评估方法的应用培训,包括 2009 年的 SWAT 模型中国应用培训班,与德国气候影响研究所(PIK)SWIM 研发者合作研究气候变化对中国大河流域的影响等。SWIM 作为一个新的水文模拟工具,目前在中国气候变化影响业务应用的案例较少,且模型内部相当复杂,理解其代码和结构是模型运用的必要条件。组织翻译 SWIM 使用指南将对模型在中国的推广和应用起到良好作用。本书是 SWIM 模型在世界范围内首次公开出版发行。

本书原著者为德国波茨坦气候影响研究所 Valentina Krysanova 博士和 Frank Wechsung 博士,美国农业部 Jeff Arnold 博士, Ragavan Srinivasan 博士和 Jimmy Williams 博士。本书出版由 2009 年中国气象局气候变化专项“中国主要流域气候变化对水资源影响评估及其适应方案选择”和国家重点基础研究发展计划项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”资助。在国家气候中心姜彤研究员组织下,由南京信息工程大学方玉、谈丰、郭媛、刘长坤和李修仓对本书进行翻译,国家气候中心苏布达、曹丽格、翟建青,安徽师范大学高超对全书内容进行审校,国家气候中心罗勇、徐影、高学杰、刘洪滨、许红梅、刘柳绿和石英等专家对书的翻译工作提出了修改意见。

由于专业词汇多,尤其是模型本身的复杂性,在本书的翻译中仍存在不足之处,恳请广大读者在使用中反馈意见,以便于进一步改进和完善。

译校者

2010 年 10 月 8 日



Preface

Development of integrated modelling tools for hydrological and water quality modelling at the river basin scale is needed for supporting water resources management. This is especially required in regions dominated by intensive agriculture (problem of water quality), in densely populated areas with intensive land and water use (problems of water supply and water quality), in arid and semi-arid regions (droughts and water scarcity), and in areas subjected to floods (flood protection). Despite all the uncertainties involved in hydrological and water quality modelling with often limited input data, such tools are very important for supporting water managers and policy makers. It would be impossible to evaluate the effectiveness of land management measures, impacts of changes in land use and climate on water quantity and quality without using the integrated hydrological and water quality models. The dynamic river basin models driven by climate conditions and land use provide functional and useful tools for creating river basin management plans and for evaluation of possible effects of changing conditions.

Depending on the objectives of model application and availability of observed data, hydrological and water quality models of different complexity are used: from conceptual models based on statistical and empirical relationships to process-based and physically-based models derived from physical and physicochemical laws. The latter ones often include some equations based on empirical knowledge. The simplified conceptual hydrological models suffer from a lack of description of important physical processes, e. g. representation of soil column and water movement through soil layers. As a result, it is difficult or even impossible to integrate biogeochemical processes, which are necessary for describing water quality relationships, in such models. The dynamic process-based models have many advantages compared to the conceptual models. The ability to provide projections for scenario conditions based on preliminary calibration and validation is one of the most important features.

The modelling system SWIM (Soil and Water Integrated Model) is a continuous-time

spatially semi-distributed model, integrating hydrological processes, vegetation growth (agricultural crops and natural vegetation), nutrient cycling (nitrogen, N and phosphorus, P), and sediment transport at the river basin scale. In addition, the modelling system includes interfaces to the Geographic Information System GRASS and MAPWINDOW, which allow to extract spatially distributed parameters of elevation, land use, soil and vegetation, and to create input files describing the hydrotope structure, and the routing structure for the basin under study. SWIM can be assigned to the ecohydrological process-based modelling tools of intermediate complexity.

SWIM is based on two previously developed tools—SWAT and MATSALU. SWAT was developed in USA to evaluate the effects of alternative management decisions on water resources, sediments and agricultural pollutants (nutrients, pesticides, bacteria and pathogens) in mesoscale and large river basins. SWAT is a public domain tool, and there are numerous SWAT applications worldwide for hydrological assessment and water quality assessment reported in the literature. The MATSALU model was developed in Estonia for the basin of the Matsalu Bay and the bay ecosystem to evaluate management scenarios for eutrophication control.

SWIM was developed first of all for climate and land use change impact assessment in Germany and Europe. Many processes are described identically in SWIM and SWAT, though there are some differences. One of the most important features of SWIM is a more advanced spatial disaggregation scheme, namely: hydrotopes (or hydrologic response units) are spatially identified in the model code, and there is a version of SWIM, where also the distance from the hydrotope to the subbasin outlet can be considered. However, SWIM has also some simplifications compared to SWAT; e. g. it does not include modules for pesticides, bacteria, reservoirs and lake water quality, which are considered in SWAT. Recently, several model extensions were added to SWIM: for wetland processes, carbon dynamics, and forest processes.

The SWIM model was extensively tested and validated in mesoscale and large catchments, mostly located in the Elbe River basin in Germany. The validation was performed for hydrological processes (water discharge, groundwater dynamics, evapotranspiration), nitrogen dynamics (N and P concentrations and loads), crop yield and erosion. A special test of the model transferability was performed using a Monte-Carlo technique. Recently, SWIM application was extended to the whole German territory (about 357000 km²) divided into five large river basins. It was proven that after extensive validation the model can be applied for impact assessment at the large regional scale in the temperate zone.

However, the model application in other geographical and climatic conditions, like China, may require additional model adjustments. Also, different data availability should be accounted for. It concerns especially input climate data and soil parametrization.

The climate stations density and climate data quality are especially important. Scaling issues considering the river basin area, the average subbasin and hydrotope areas, and the

number of climate and precipitation stations, and how they may influence the modelling results, should be investigated for new regional applications outside Europe.

As proven in the previous model applications and tests, soil parametrization is also very essential for SWIM outputs. Therefore, additional efforts may be needed if soil map is too coarse, soil parametrization is poor, or some parameters are missing. Using of global soil maps for the regional scale is not recommended. Application of global (i. e. basin-wide) correction factors for estimated soil parameters is possible in such cases.

Besides, a special attention should be paid to crop scheduling, which may be quite different from that in Europe. Previously the model was tested and validated for several major crops, which are common for German conditions, such as winter wheat, winter and summer barley, rape, potatoes, mais, etc. Therefore, the model should be tested in advance for new crops (e. g. rice), translating specific regional crop scheduling and practices in the code, and using crop yield data for calibration and validation. Usually, only one major crop and a catch crop are applied annually on arable land in Germany, and the SWIM model includes input files for that. However, if two crops per year should be included, the corresponding input file has to be modified.

In general, the potential users should keep in mind that the SWIM model is quite complicated, and it cannot be used as a black box. Understanding of the model code is a prerequisite for successful applications.

Moreover, the modeller should remember that uncertainty is always included in the modelling results. There are different sources of uncertainty, which should be analysed and used for the interpretation of modelling results: in input data, in model parameters, and in the measurements used for the comparison with the model outputs. Therefore, the modelling results should be interpreted within the uncertainty ranges related to uncertain model parameters and input data.

The SWIM User Manual includes a short overview of the model history and model components (Chapter 1) and mathematical description of hydrological processes, vegetation growth, nutrient turnover, erosion and river routing (Chapter 2). The structure of SWIM code and input parameters are described in Chapter 3, and Chapter 4 is devoted to data preparation for the model run. The User Manual and, to some extent, the code have to be carefully studied by new users in advance. The current User Manual does not include description of several new modules of SWIM and description of the MAPWINDOW interface, which will be included in the updated version of the User Manual.



Potsdam Institute of Climate Impact Research

原作者序

水资源管理离不开流域尺度的水文和水质综合模型,特别是在农业发达地区(水质问题),土地利用率高及水资源消耗大的人口稠密区(水源供应和水质问题),干旱与半干旱区域(缺水和用水安全问题)与洪水肆虐区域(防洪需求)。尽管由于输入数据的限制,水文和水质模型存在一定的不确定性,但是这些工具对水资源的管理者和决策者十分重要。如果缺少水文和水质综合模型,将无法评估不同土地管理措施的成效,土地利用变化和气候变化对水量和水质的影响。由气候、土地利用等条件驱动的动态模型,能为流域规划、变化情景的影响评估提供实用有效的工具。

根据不同的应用目标和获取的观测数据,可以使用不同的模型,如基于统计、经验关系的概念模型,或基于物理和物理化学定理的动态模型。简化的概念模型由于缺少对重要的物理过程的描述,无法体现综合的生物化学过程,无法准确体现水质的变化过程。而动态模型与概念模型相比有相当的优势,因为包含了基于经验知识的关键方程,特别是通过率定和验证,能为设定的不同情景条件提供预估结果。这也是动态模型最重要的特征之一。

SWIM 模型是一个连续的半分布式模型,包含水文、植被生长(农作物和自然植被)、养分循环(氮、磷)、泥沙运动等过程。此外,模型通过与地理信息系统 GRASS、MAPWINDOW 的耦合,可以提取高程、土地利用、土壤和植被的空间分布等参数和数据,创建描述水文响应单元结构的输入文件和流域的汇流结构,属于中等复杂程度的生态水文过程模型。SWIM 模型是在 SWAT 模型和 MATSALU 模型的基础上开发的。SWAT 由美国开发用于评估中尺度和大尺度流域的水资源,以及泥沙和农业污染(养分、农药、细菌、病原体)的管理决策。SWAT 作为宽领域的模型,在世界范围水资源评估、水质评估中

有大量的应用案例。MATSALU 模型由爱沙尼亚研发,主要针对 Matsalu 海湾和海湾生态系统,评估不同管理措施对海湾富营养化产生的影响。

SWIM 的开发首先是为了在德国和欧洲进行气候和土地利用变化的影响评估。SWIM 与 SWAT 的主要过程描述大致相同。SWIM 最重要的特征之一,就是空间的划分方案,即增加水文响应单元,而且考虑了水文响应单元到子流域出口的距离。SWIM 与 SWAT 相比也有一定简化,比如不再包含农药、细菌、水库和湖泊水质模块。最近,SWIM 模型中加入了一些描述湿地过程、碳动态和森林过程的扩展模块。SWIM 模型已经进行过广泛的试验,在易北河流域的中、大尺度水系开展了模型的水文过程(水流量、地下水动态、蒸发),养分动态(氮、磷的浓度、负荷),作物产量和侵蚀过程的有效性方面的充分验证,并通过了 Monte-Carlo 技术的模型可移植性测试。近期,SWIM 应用已扩展至整个德国范围(约 35700 km²)的五大流域,证实该模型适用温带大区域尺度的影响评估。

SWIM 模型在应用到地理和气候条件不同的地区时,可能需要进行调整。同时要考虑数据的获取难易程度,尤其是输入的气候数据和土壤参数的精度和分辨率等。因为气象站的密度和气象数据质量对模型应用非常关键,影响到模拟结果的好坏。在欧洲以外的区域这些影响尚未被完全揭示,应用模型时应给予充分考虑。根据模型的应用和测试经验来看,土壤参数化对 SWIM 是必不可少的,需要较为精细的土壤数据。如果直接将全球土壤图用于区域尺度,也可能对模拟结果产生不利影响。在案例中无法获取精细的土壤参数时,可以使用全球校正因子等方法来估算土壤参数。还需要注意作物耕作制度的影响,因为其它地区与欧洲的耕作制度和作物品种一定有所不同。模型已经对一些主要的农作物进行了应用和测试,包括冬小麦、冬夏大麦、油菜、土豆、玉米等德国常见作物,对于其他作物(如水稻)则需要进行测试。在德国,通常每年种植一种主要作物或一种经济作物,因此 SWIM 模型的输入文件是据此设置的,如果每年有两种作物轮作,则需要修改输入文件。

总之,SWIM 模型相当复杂,不能被视为一个简单黑箱模型,理解模型代码是运用该模型的必备条件。同时,使用者应当知道模拟结果通常具有不确定性。造成不确定性的原因有多种,如输入的数据、模型的参数化、模拟结果间的对比分析方法等等。在解释模拟结果时,应当注意由模型参数和输入数据的不确定性所导致的置信区间。

本书共为四章:第一章为模型概述,第二章为模型构成的数学描述,第三章为 SWIM 代码结构和参数输入,第四章为如何准备数据和运行 SWIM。本书为读者全面介绍了 SWIM 模型的基本理论以及模型应用。这本书中并未

包括 SWIM 中一些新模块和 MAPWINDOW 界面的描述,我们将在之后的更新版中提供。

在此特别感谢中国气象局国家气候中心在水文方面的诸多合作,并直接促成了本书中文版的出版发行,使得 SWIM 模型能在中国推广使用。



波茨坦气候影响研究所



前言

Preface

原作者序

第 1 章 模型概述	1
1.1 模型历史	1
1.2 概述	4
1.2.1 目的	4
1.2.2 原理	4
1.2.3 空间划分	6
1.2.4 GIS 界面	7
1.2.5 模拟过程	7
1.3 SWIM/GRASS 界面概述	8
1.3.1 主菜单	8
1.3.2 主菜单的选项	9
1.4 模型组件的概述	12
1.4.1 水文过程	12
1.4.2 作物/植被生长	13
1.4.3 养分动态	13
1.4.4 侵蚀作用	14
1.4.5 汇流	14
第 2 章 模型组件的数学描述	16
2.1 水文过程	16
2.1.1 融雪	17

2.1.2	地表径流	17
2.1.3	径流峰值	20
2.1.4	下渗	22
2.1.5	侧向壤中流	24
2.1.6	潜在蒸散	25
2.1.7	土壤蒸发和植物蒸腾	26
2.1.8	地下径流	27
2.1.9	传输损耗	29
2.2	作物/植被生长	30
2.2.1	作物生长	30
2.2.2	生长约束条件:水分因子	32
2.2.3	生长约束条件:温度因子	33
2.2.4	生长约束条件:养分因子	33
2.2.5	作物产量和残余物	34
2.2.6	不同二氧化碳浓度条件下的净光合作用调整	36
2.2.7	不同二氧化碳浓度条件下的蒸散调整	39
2.3	养分动态变化	40
2.3.1	土壤温度	40
2.3.2	施肥作用和降水输入	42
2.3.3	氮的矿化	42
2.3.4	磷的矿化	44
2.3.5	磷的吸附作用/吸收	44
2.3.6	脱氮作用	45
2.3.7	作物养分吸收	45
2.3.8	硝酸盐在地表径流和地下水淋滤中的损失	46
2.3.9	地表径流可溶磷的损失	47
2.4	侵蚀作用	49
2.4.1	泥沙产量	49
2.4.2	有机氮随泥沙的传输	50
2.4.3	磷随泥沙的传输	51
2.5	汇流	52
2.5.1	径流汇流	52
2.5.2	泥沙汇流	53
2.5.3	养分汇流	54
第3章	SWIM 代码结构和输入参数	64
3.1	SWIM/GRASS 界面结构	64
3.2	SWIM 模拟部分结构	70

3.2.1 文件及其功能	70
3.2.2 子程序及其功能	74
3.2.3 主要的管理子程序以及参数读取部分	78
3.3 输入和输出文件	81
3.4 输入参数	87
3.4.1 输入文件-.cod	87
3.4.2 输入文件-.fig	89
3.4.3 输入文件-.bsn	90
3.4.4 输入文件-.str	93
3.4.5 输入文件-sub-prst.dat	94
3.4.6 输入文件-crop.dat	94
3.4.7 输入文件-wgen.dat	100
3.4.8 输入文件-.sub	101
3.4.9 输入文件-.gw	103
3.4.10 输入文件-.rte	104
3.4.11 输入文件-wstor.dat	105
3.4.12 输入文件-soilNN.dat	105
3.4.13 文件init.f的BLOCK数据	107
第4章 数据准备与SWIM运行	110
4.1 空间数据准备	110
4.1.1 GIS数据概述	111
4.1.2 空间分辨率的选择	113
4.1.3 子流域平均面积的选择	114
4.1.4 GRASS GIS概述	115
4.1.5 GRASS程序和函数	115
4.1.6 ARC/INFO地图转ASCII格式	117
4.1.7 流域分析程序r.watershed	121
4.1.8 DEMO演示数据库	122
4.2 SWIM/GRASS界面	129
4.3 相关数据准备	134
4.3.1 相关数据概述	134
4.3.2 气候数据	135
4.3.3 土壤数据	137
4.3.4 作物参数和作物管理资料	142
4.3.5 水文和水质数据	142
4.4 模型运行	143
4.4.1 收集输入数据	143

4.4.2 调整编码以适应特定的输入数据 144

4.4.3 敏感性分析 145

4.4.4 模型应用概述 162

附录 SWIM 的空间数据准备 GRASS 命令 165

参考文献 171

作者致谢 176

第1章

模型概述

本章内容主要包括:模型历史回顾,模型开发目的、过程和空间划分,模型组件概述及算法描述。

1.1 模型历史

SWIM 模型是在 SWAT (Arnold 等, 1993&1994) 和 MATSALU (Krysanova 等, 1989a&b) 模型的基础上开发而成的。

SWAT 是一个连续的分布式水文模型,可以在没有或缺少相关观测资料的乡村地区,合理地预估不同的管理决策对流域水、泥沙、化学物质的可能影响。该模型因具有丰富的模拟应用经验而受到用户的广泛青睐(见图 1.1)。

20 世纪 70 年代中期,美国农业部农业研究服务中心(ARS)响应“水清洁法”,召集了多学科的科学家,研发一个基于过程的非点源模拟模型,开发了田间尺度的 CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) 模型 (Knisel, 1980),用于模拟土地管理对水、沙和营养盐的影响。在此基础上,80 年代又相继发展了几类模型。其中 GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management System) 模型 (Leonard 等, 1987), 主要研究地下水所负载的杀虫剂和养分含量。EPIC 模型 (Erosion-Productivity Impact Calculator) (Williams 等, 1984&1985), 最早用于模拟侵蚀作用对作物产量的影响,目前已发展成为评估农业管理和非点源污染负载量的综合农业

田间尺度模型。OPUS 模型 (Smith, 1992) 同样源于 CREAMS 模型, 用于评估不同的管理模式对农田区域非点源污染的影响。上述三种模型均适于农田尺度或小流域尺度的模拟运用。

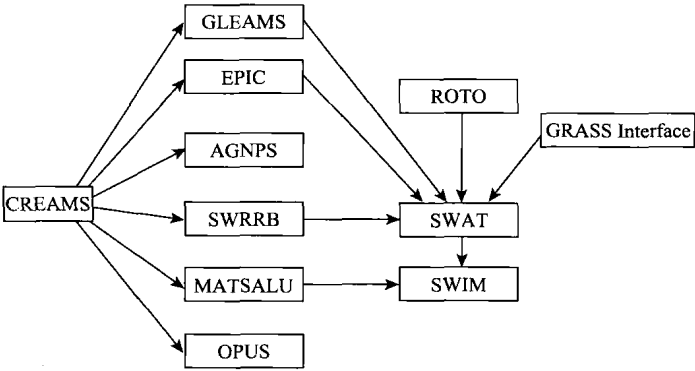


图 1.1 基于 CREAMS 的 SWIM 模型发展过程

随着研究领域的扩大, 在 CREAMS 模型基础上又相继开发了 AGNPS (Young 等, 1989), SWRRB (Arnold 等, 1990) 和 MATSALU (Krysanova 等, 1989a, b) 等模型, 用于模拟具有不同土壤类别、土地利用类型和管理模式的复杂流域。

AGNPS (AGricultural NonPoint Source) 是单一事件 (暴雨) 模型, 将复杂的流域划分为若干栅格单元。

SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) 是模拟流域非点源污染的日尺度连续型模型, 可将流域最多划分为十个子流域。为了使该模型能适用于复杂流域, 在 CREAMS 基础上, 主要进行了如下修改:

- 可以同时几个子流域进行模拟运算
- 研发了一个更好的预测峰值径流率的方法
- 添加了描述侧向壤中流的模块
- 添加了作物生长模块, 以说明作物年内生长变化及其对水文过程的影响
- 连接了一个池塘/水库蓄水模块
- 添加了天气发生器 (降水、太阳辐射及气温), 使天气输入要素的时空分布更具代表性
- 添加了描述传输损耗的模块
- 连接了一个简单的洪水汇流模块
- 添加了一个模拟泥沙在池塘、水库、河流和流域中传输的模块

但是 SWRRB 模型仍有局限性, 该模型最多只能进行十个子流域的模拟运算, 其汇流过程也比较简单。因而又开发了 ROTO (Routing Outputs to Outlet) 模型 (Arnold 等, 1990)。该模型承接 SWRRB 模型的输出结果, 增加了河道和水库流量的汇流运算, 并通过“联接”子流域出口流量, 解决了 SWRRB 模型子流域数量存在上限的难题。

尽管 SWRRB 和 ROTO 模型的组合相当有效, 大大优于 CREAMS 模型, 但是它们的输入和输出文件繁多, 且需要很大的计算空间。由于 SWRRB 所有的模拟过程都需要独