

考虑地形指数尺度转换的陆面水文过程模型 TOPX 构建及其 与区域气候模式 RIEMS 的耦合应用

Development of a Land-surface Hydrological Model TOPX with a Scale Transforming Mechanism of the Topographic Index and Its Coupling Study with Regional Climate Model RIEMS

雍 斌

河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098

本论文借助 TOPMODEL 的地形指数概念 (TOP) 和新安江模型的水量平衡思想 (X), 构建一个具有地形指数尺度转换机制的陆面水文过程模型 TOPX, 并将其与 RIEMS 区域气候模式紧密耦合, 以提高气候模式对陆面水文过程的模拟能力。围绕这一研究目的, 本论文比较深入细致地研究和探讨了构建 TOPX 模型并实现与 RIEMS 模式耦合工作中所需要解决的四个关键性核心问题。

1. 提出一个理论上更合理, 实际计算结果更准确的地形指数新算法 IMFD。基于多流向算法的基本原理, 本论文研建的 IMFD 法对地形指数计算中的流动累积分配的有效等高线长度精确计算提出了几何锥面内切圆算法, 客观计算出了有效等高线的准确长度, 改变了多流向算法中对该参数进行主观估计的缺陷; 同时, 根据地形指数本身物理意义, 修正了传统的地形指数中单位等高线汇流面积的计算公式; 另外还增强了算法对 DEM 中异常栅格的处理能力。为了检验 IMFD 法的有效性, 论文采用人造 DEM 对该方法进行了定量评估, 并在不同尺度流域上进行实地验证。

2. 研建了中国范围内的地形指数空间尺度转换方案。基于 IMFD 地形指数计算新方法, 在中国版图范围内任意选取了 100 个采样网格, 定量分析了地形指数在 90 m 和 1 000 m 两个不同精度, $1^\circ \times 1^\circ$ 、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 、 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 三种不同网格尺度上的统计相关性, 从而研建了中国范围内的地形指数空间尺度转换方案。为了检验该方案的可靠性及局部适用能力, 我们进行了针对性的加密采样验证工作。加密验证结果表明: 该地形指数空间尺度转换方案稳定可靠、局部适用能力强。

3. 构建了陆面水文过程模型 TOPX。论文提出了一个精确表征地形指数空间累积分布特征的双参数幂指数函数法, 从而巧妙地将地形特征与 SIMTOP 饱和产流方案衔接起来。基于改进型 SIMTOP 产流机制及新安江水量平衡计算方法, 构建了一个具有地形指数尺度转换机制的陆面水文过程模型

TOPX。该模型在汉江的西水街流域和泾河的马莲河流域分别进行了离线测试, 结果表明: TOPX 模型在湿润区小流域的日径流量模拟精度很高, 而且 TOPX 能够较好地捕捉土壤含水量、饱和源面积等各种水文过程变量的时空动态变化过程, 同时, TOPX 在半干旱中尺度流域也具有较好的适用性。

4. 实现了 TOPX 模型与 RIEMS 区域气候模式的耦合。论文最后完成了模式传输参数的对接, 并制定了耦合具体实施方案, 实现了 TOPX 模型与 RIEMS 区域气候模式的耦合, 从而改善了 RIEMS 模式对陆面水文过程的模拟。由于 TOPX 模型本身是针对区域气候模式而构建的, 该模型的特点是细致考虑了地形这个关键性要素对陆面水文过程的影响, 同时还考虑了计算格网内的坡面汇流过程以及网格单元间的河道汇流过程, 弥补了 RIEMS 中对整个陆面水文过程考虑不足的缺陷。TOPX 与 RIEMS 耦合模式在泾河流域张家山站 1989 年和 1990 年连续两年日径流量的模拟取得了令人满意的效果。此外, 论文对耦合模式模拟的 1990 年三场次洪期的日径流过程线及其对应的日降水时空演变过程进行了进一步分析, 结果发现: 气候模式模拟的降水是决定整个耦合模式对径流量模拟效果的关键性因素。

博士论文得到下列项目资助: 国家重点基础研究发展规划 973 项目 (2006CB400502), 教育部及外国专家局特批高等学校学科创新引智计划 111 项目 (B08048), 中科院百人计划择优支持项目 (8-057493), 教育部科学技术重点项目 (2006CB309404)。

雍斌, 2002 年 9 月至 2007 年 11 月在北京大学地理与海洋科学学院硕博连读, 攻读地图学与地理信息系统专业博士学位, 2004 年 9 月至 2007 年 9 月在中国科学院大气物理研究所客座, 目前在河海大学任教。主要研究方向为: 基于 GIS 和 RS 的数字流域、数字地形分析、大尺度水文、区域大气-水文过程耦合, 多源时空信息和分布式水文模型的融合。

指导教师: 张万昌