

# 基于暴雨洪水的小流域土壤侵蚀预报方法调研

减灾中心李辉，张淼，张霞，董喆

加强水土保持工作，综合治理水土流失，是生态文明建设的重要内容。2017年水利部提出加强全国和省级水土流失动态监测工作，采用遥感调查、定位观测与模型计算相结合的技术方法和手段开展水土流失动态监测，掌握各区域水土流失面积、强度和分布，为国家生态文明建设宏观决策、生态安全监测预警、生态文明建设目标评价考核等提供依据。该工作的关键在于客观、准确地计算分析各区域的水土流失量和土壤侵蚀状况。

水力侵蚀是我国水土流失的主要形式之一。针对水力侵蚀，目前我国主要采用经验性模型进行计算。该类模型缺乏物理基础，仅适用于单一地块的坡面年均土壤流失量预测，不能应用于其他形式的土壤侵蚀预测，也不能反映沉积作用和沉积物的变化，更难以用来计算或预测场次降雨过程中的土壤流失量。小流域作为完整的径流形成、汇集和侵蚀、产沙、输沙系统，是水土流失发生的基本空间表现单元，也是进行水土流失综合治理的基本单元。近半个多世纪以来小流域土壤侵蚀预报模型研发一直是土壤侵蚀研究的热点和前沿领域。随着学者们对土壤侵蚀的不断深入研究，以及大量径流小区和试验小流域野外观测资料以及室内外模拟降雨资料的获得，使得小流域侵蚀产沙模型得到快速发展。

WEPP模型是基于物理过程模型开发的计算机过程模型，由美国农业部农业研究局、林业局、土壤保持局及内政部的土地管理局等单位联合开发，可估算土壤侵蚀的时空分布及随时间的变化，可以应用于更广泛的条件。WEPP中的侵蚀计算以单位沟宽或单位坡面宽为基础，假设恒定的细沟宽度，不变的水力糙度，流量随距离线性变化，坡度不随时空发生变化，描述侵蚀产沙的方程式是基于稳态的泥沙连续方程。实际上，侵蚀过程是不断随着时间变化的空间过程，不仅坡面和侵蚀沟的坡度随时间发生变化，而且坡面及侵蚀沟内的水流及其动力特性也随时空发生变化。坡度对于坡面流水动力特性有无影响并不明确。从概念上说，WEPP基于物理过程，但一些过程的表达仍是经验公式。同时，侵蚀机理仍需要进一步验证和研究。

SWAT 模型，即 Soil-Water Assessment Tool，创建于 20 世纪 90 年代初，是由美国农业部农业研究中心开发的流域尺度模型，用于模拟地表水和地下水的水质和水量等，长期预测土地管理措施对具有多种土壤、土地利用和管理条件的大面积复杂流域的水文、泥沙和农业化学物质产量的影响。SWAT 模型中主要含有水文过程子模型、土壤侵蚀子模型和污染负荷子模型。用于土壤侵蚀预报时，主要应用水文过程子模型和土壤侵蚀子模型，将流域分成若干单元，在各单元建立水文物理概念模型，进行坡面产汇流计算，利用修正的通用流失方程计算土壤侵蚀量，通过汇流网络将各单元连接起来。其特点在于将大流域划分为多个亚流域同时进行模拟，运算效率高，能进行长时期的连续计算，模拟层间流、地下水流、河道演进、泥沙侵蚀与输移等，还可用于无资料地区的模拟。SWAT 模型是以美国的水文、气候等环境要素为对象开发的，且其核心方程 USLE 是为应用于美国水土流失状况而建立的经验公式，因此在应用于美国以外的区域时，SWAT 模型需要根据当地的实际状况进行敏感性分析。

LISEM 模型（Limburg Soil Erosion Model）是针对荷兰南部黄土区开发的土壤流失和径流的定量评价模型，由荷兰乌德勒支大学(Utrecht university)、阿姆斯特丹大学和韦南得斯大林水土研究中心等机构在荷兰农业部和地方政府资助下联合研发。LISEM 模型开发主要基于 ANSWERS 模型和 SWATRE 模型的经验，但模型模拟的过程根据黄土区的特征做了很大的改变。模型中考虑了降雨、截留、填洼、渗透、水分垂直运动、表层水流、沟道水流、土壤分散、泥沙输移等物理过程，土壤颗粒的输移和沉积过程依据径流的输移能力和径流含沙量的比较。该模型基于 GIS 环境开发，能与栅格 GIS 完全集成，但应用时数据需求量巨大。

近几十年来，土壤侵蚀模型研究取得了大量的研究成果，且伴随 RS、GIS 等技术研发了分布式水蚀模型。近年来，全国山洪灾害防治项目的实施，不仅积累了全国小流域的划分数据，而且在小流域暴雨洪水计算模型和方法方面取得了大量成果。基于流域坡面与沟道侵蚀物理过程，以小流域为单元，将现有的小流域暴雨产汇流模型与土壤侵蚀产沙模型相结合计算流域或区域内的土壤流失量可为解决我国现有区域水土流失计算问题提供有效途径。建议在当前土壤侵蚀研究成果的基础上，进一步加强对水蚀机制机理方面的研究，充分考虑泥沙在复杂坡

面、陡坡以及不同流域尺度间的分散、输移和沉积作用，开展径流、产沙等物理过程相结合的流域、区域尺度的分布式土壤侵蚀模型研究。