基于 SWAT 模型解析浏阳河流域面源污染特征与模拟研究

一、引言

1.1 研究背景与意义

水是生命之源，河流作为水资源的重要载体，对生态环境和人类社会的发展至关重要。浏阳河作为湘江的一级支流，全长 224 公里，流域面积 4244 平方公里，它不仅是长沙的母亲河，更在区域的生态平衡、农业灌溉、居民生活用水以及旅游业发展等方面发挥着不可替代的作用。然而，随着经济社会的快速发展，浏阳河流域的面源污染问题日益突出，给当地的生态环境和居民生活带来了严重影响。

面源污染，又称为非点源污染，与点源污染相比，具有排放分散、隐蔽，排污随机、不确定、不易监测等特点 。在浏阳河流域，农业生产中过量使用的农药、化肥，通过地表径流冲刷进入河流，造成水体的富营养化；畜禽养殖产生的大量粪便和污水，未经有效处理随意排放，进一步加剧了河流水质的恶化；此外，农村生活污水的无序排放以及水土流失导致的泥沙携带污染物入河等，都使得浏阳河的面源污染形势愈发严峻。据相关资料显示，2017 年以前，浏阳河常年处于 Ⅴ 类及劣 Ⅴ 类水质，三大干流重要支流水质不达标比例近 40% ，河流生态系统遭到严重破坏，水生生物多样性锐减，水体散发异味，周边居民避而远之，严重影响了当地的生态景观和居民的生活质量。

准确掌握浏阳河流域面源污染的现状、来源及分布特征，对于制定有效的污染治理措施，改善河流水质，恢复河流生态系统具有重要意义。传统的研究方法往往难以全面、准确地获取面源污染的相关信息，而模型模拟技术的发展为解决这一问题提供了有力的工具。SWAT（Soil and Water Assessment Tool）模型是一种基于 GIS

基础之上的分布式流域水文模型，能够模拟流域内多种不同的水文物理化学过程，如水量、水质以及杀虫剂的输移与转化过程。它可以充分利用遥感和地理信息系统提供的空间信息，考虑流域内复杂的地形、土壤、土地利用等因素，对流域面源污染进行长期、连续的模拟分析。通过 SWAT 模型，能够深入了解浏阳河流域面源污染的产生机制、传输路径以及在不同时空尺度下的变化规律，从而为流域的污染治理和水资源保护提供科学依据。

因此，开展基于 SWAT 模型的浏阳河流域面源污染模拟研究具有重要的现实意义。一方面，有助于准确评估浏阳河流域面源污染的现状和趋势，为制定针对性的污染防治措施提供数据支持；另一方面，能够为流域水资源的合理开发利用和生态环境保护提供科学指导，促进流域经济社会与生态环境的协调发展，让浏阳河重新焕发生机与活力，造福流域内的广大居民。

1.2 国内外研究现状

面源污染作为全球关注的环境问题，其模拟研究一直是学术界和工程领域的热点。SWAT 模型自开发以来，凭借其强大的功能和对复杂流域系统的适应性，在国内外得到了广泛的应用和深入的研究。

在国外，早期的研究主要集中在模型的开发与验证阶段。美国作为 SWAT 模型的发源地，率先在众多流域开展了应用研究。如 Arnold 等在 Texas 的 Walnut Creek 流域对 SWAT 模型进行了初步验证，模拟了流域的径流、泥沙和营养物质的输出，结果表明模型能够较好地反映流域的水文和水质过程。随后，欧洲、亚洲、非洲等地区的学者也纷纷引入该模型，开展了一系列的研究工作。在欧洲，德国的学者利用 SWAT 模型对 Netze 流域进行了模拟，研究了不同土地利用和管理措施对流域面源污染的影响，发现农田和居民点是氮磷等污染物的主要输出源。在亚洲，印度的研究人员运用 SWAT 模型对 Kali 河流域进行了面源污染模拟，通过敏感性分析确定了影响流域水质的关键因素，为流域的污染治理提供了科学依据。在非洲，南非的学者利用该模型评估了农业活动对面源污染的贡献，提出了相应的污染控制策略。

随着研究的不断深入，国外的研究重点逐渐转向模型的改进与优化，以及与其他模型的耦合应用。例如，为了提高 SWAT 模型对河道水质的模拟精度，一些学者将其与 QUAL2E、QUAL2K 等河道水质模型进行耦合，通过对比不同耦合方案下的模拟结果，发现改进后的模型在枯水期对污染物的模拟效果有显著提升 。此外，还有研究将 SWAT 模型与气象模型、土壤侵蚀模型等进行耦合，以实现对流域生态系统的多过程、多要素的综合模拟。

在国内，SWAT

模型的应用研究起步相对较晚，但发展迅速。早期的研究主要是对模型的引进和本地化应用，学者们在不同的流域开展了大量的案例研究，如太湖流域、滇池流域、三峡库区等，通过对模型的参数率定和验证，评估了模型在国内不同地理环境和气候条件下的适用性。随着研究的深入，国内的研究逐渐向精细化、综合化方向发展。一方面，在模型参数的确定上，不再局限于传统的经验取值和试错法，而是结合地理信息技术、野外监测数据和统计分析方法，提高参数的准确性和可靠性。例如，利用高分辨率的遥感影像和地理信息系统，对土地利用、土壤类型等参数进行精确提取和分类，从而提高模型对流域空间异质性的描述能力 。另一方面，研究内容也从单纯的面源污染模拟，拓展到了污染负荷的时空分布特征分析、污染源解析、污染控制措施的评估等多个方面。例如，在对滇池流域的研究中，通过 SWAT 模型模拟了不同土地利用类型下的氮磷污染负荷，分析了其在不同季节和空间尺度上的变化规律，并结合源解析技术，确定了农业面源污染是滇池富营养化的主要贡献源，进而提出了针对性的污染治理措施。

尽管国内外在利用 SWAT 模型进行面源污染模拟方面取得了丰硕的成果，但仍存在一些不足之处。首先，模型参数的不确定性仍然是一个亟待解决的问题。SWAT 模型涉及众多的参数，这些参数的取值往往受到数据质量、监测手段、地理环境等多种因素的影响，导致参数的不确定性较大，从而影响了模型模拟结果的准确性和可靠性。其次，在模型的应用中，对一些复杂的水文过程和污染物迁移转化过程的描述还不够完善。例如，对于土壤中溶质的运移、地下水与地表水的相互作用等过程，模型的模拟精度还有待提高。此外，目前的研究大多集中在单个流域或区域，缺乏对不同流域和区域之间的对比分析，难以总结出具有普遍适用性的规律和结论。最后，在污染控制措施的模拟和评估方面，虽然已经开展了一些研究，但仍缺乏系统性和综合性，对不同措施之间的协同效应和相互影响考虑不足。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本研究以浏阳河流域为研究区域，基于 SWAT 模型展开一系列关于面源污染的模拟与分析工作，具体研究内容如下：

- **浏阳河流域数据收集与处理**：全面收集浏阳河流域的基础地理信息数据，包括数字高程模型（DEM）数据，用于提取流域的地形特征，如坡度、坡向等，进而划分流域边界、河网以及子流域；土地利用数据，明确流域内不同土地利用类型的分布，如耕地、林地、草地

、建设用地等，这对于分析面源污染的产生与传输具有重要意义；土壤类型数据，获取土壤的质地、结构、肥力等信息，以便准确模拟土壤中水分和养分的运移过程。同时，收集流域内的气象数据，包括降水、气温、风速、相对湿度、日照时数等，这些数据是驱动

SWAT 模型运行的重要输入，用于模拟流域的水文循环过程。此外，还收集了流域内的水文水质监测数据，如河流的流量、水位、化学需氧量（COD）、氨氮、总磷、总氮等指标的监测数据，用于模型的参数率定和验证，确保模型能够准确地反映流域的实际情况。对收集到的数据进行预处理和质量控制，包括数据格式转换、缺失值处理、异常值剔除等，使其符合 SWAT 模型的输入要求。

- **SWAT 模型构建与参数率定**：在 ArcGIS 平台的支持下，利用处理好的数据构建浏阳河流域的 SWAT 模型。首先，根据 DEM 数据进行流域的地形分析，划分出子流域和水文响应单元（HRU），HRU 是 SWAT 模型中进行水文和水质模拟的基本单元，它将具有相似土地利用、土壤类型和坡度的区域划分为一个单元，以便更准确地模拟流域内的空间异质性。然后，将土地利用、土壤类型等数据与 HRU 进行关联，为每个 HRU 赋予相应的属性参数。接着，输入气象数据，设置模型的气象参数，如降水截留系数、蒸散发系数等。根据流域的实际情况，对模型的初始参数进行合理的赋值，并利用流域内的水文水质监测数据，采用 SUFI - 2 等参数优化算法对模型进行参数率定。通过不断调整参数值，使模型的模拟结果与监测数据尽可能吻合，从而确定出最适合浏阳河流域的模型参数，提高模型的模拟精度。
- **浏阳河流域面源污染时空分布特征分析**：运用率定后的 SWAT 模型，对浏阳河流域的面源污染进行长时间序列的模拟分析，时间尺度涵盖多年的逐月、逐年变化，空间尺度则细化到子流域和 HRU 层面。通过模拟结果，分析流域内化学需氧量（COD）、氨氮、总磷、总氮等主要污染物负荷的时空分布特征。在时间分布上，研究污染物负荷随季节、年份的变化规律，如分析丰水期和枯水期污染物负荷的差异，以及不同年份间污染物负荷的波动情况，探究其与降水、气温等气象因素以及农业生产活动、居民生活方式等人类活动因素的相关性。在空间分布上，绘制污染物负荷的空间分布图，直观展示不同区域的污染程度，确定面源污染的高值区和低值区，分析土地利用类型、地形地貌、人口密度等因素对污染物空间分布的影响。例如，研究发现耕地集中的区域往往是氮磷等污染物的主要输出源，而林地和草地则对污染物具有一定的截留和净化作用；地势低洼、水流汇聚的区域，污染物容易积聚，污染程度相对较高。
- **浏阳河流域面源污染来源解析**：基于 SWAT

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
https://d.book118.com/298105031100007045