

Inversion and application of regional hydrogeological parameters based on GIS technology

Guangming Cao Yuan Yang

Shandong Provincial Institute of Geological and Mining Engineering Survey (Shandong Provincial Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development, No.801 Hydrogeological and Engineering Geology Brigade), Jinan, Shandong, 250014, China

Abstract

With the rapid progress of geographic information technology, GIS technology has shown an extremely important function and value in the field of regional hydrogeology research. This paper focuses on the application of geographic information system (GIS) technology in the inversion process of regional hydrogeological parameters. GIS technology, with its unique principle, provides an obvious advantage for hydrogeological research. Through data management and integration, with strong spatial analysis ability and intuitive visualization technology, this study effectively promotes the inversion of hydrogeological parameters. This paper discusses the data-driven and model-driven inversion techniques, and discusses the application prospect of integrating these methods together with remote sensing and Internet of Things technologies.

Keywords

GIS technology; regional hydrogeology; parameter inversion; application

基于 GIS 技术的区域水文地质参数反演与应用

曹光明 杨元

山东省地矿工程勘察院（山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队），中国·山东 济南 250014

摘 要

伴随地理信息技术的迅猛进步，在区域水文地质研究领域，GIS技术已展现出极其重要的功能与价值。本文集中探讨了地理信息系统（GIS）技术在区域水文地质参数反演过程中的应用。GIS技术借助其独到的原理，为水文地质研究提供了明显的优势。通过数据管理与整合、借助于强大的空间分析能力和直观的可视化技术，本研究有效促进了水文地质参数的反演工作。本文论述了基于数据驱动与模型驱动的反演技术，并探讨了这些方法与遥感、物联网技术整合的应用前景。

关键词

GIS技术；区域水文地质；参数反演；应用

1 引言

伴随信息技术的迅速进步，GIS技术应运而生，凭借其卓越的数据处理与空间分析效能，为区域水文地质参数的反演提供了创新途径。通过应用GIS技术，可以有效地集成多样化的异构数据，加速水文地质参数的反演过程，从而为水资源的持续利用、地质灾害的预警等关键领域提供强有力的数据支持与科学指导，显著促进了水文地质学的理论进步与实践应用，具有深远的意义。

【作者简介】曹光明（1982-），男，中国山东安丘人，本科，高级工程师，从事水文与水资源工程，水文地质、工程地质、环境地质研究。

2 GIS 技术概述

2.1 GIS 技术原理

GIS技术借助于计算机硬件与软件平台，全面处理地理空间信息。该研究的数据采集渠道多样，涵盖现场测量、卫星遥感观测、航空影像获取以及既有地图的数字化转换。在数据存储阶段，采用了矢量与栅格这两种核心的数据模型。矢量模型适于精确表征离散地理元素，包括河流与断层等；而栅格模型则通过规整的网格单元存储信息，适宜处理连续性现象，例如地形高度与地下水位。GIS拥有全面的数据处理能力，涉及数据编辑、格式转换以及坐标投影变换等操作。通过空间查询、通过应用叠加分析、缓冲区分析等空间分析技术，能够揭示地理要素之间的空间关联与隐藏规律。最终，通过直观的地图和专题图表等可视化形式展现分析成果，实现了地理信息的可视化呈现，旨在辅助用户深入理解复杂多变的地理现象。

2.2 GIS 技术在水文地质领域的优势

2.2.1 数据管理与整合

水文学及地质学研究涵盖大量多元数据,其中地形地貌数据揭示地面的高低变化,地质构造数据揭示地底岩石的布局与形态,地下水位与流量数据体现水流动态,而气象数据则影响地下水的补给过程。地理信息系统(GIS)技术借助于构建一致化的数据架构,实现了对形态多样、来源分散数据的无缝集成。借助数据库管理系统,实现了数据的高效率存储、迅捷检索及及时更新。此外,通过GIS的属性链接功能,能够实现空间数据与相应属性信息的无缝整合,比如将钻孔地点的地理坐标与该区域的岩石类型、渗透率等特性相绑定,显著增强数据管理效能,并为后续的研究提供有力支撑。

2.2.2 空间分析功能

GIS卓越的空间分析能力在水文地质研究领域扮演着不可或缺的核心角色。以合成分析为实例,研究者能够准确地将地质构造图层与地下水位图层进行叠加操作。通过比较不同层次的数据,本研究能够清晰地展示地质构造如何影响地下水位的分布模式,例如,在断层区域,由于岩石的破碎与高渗透性,地下水位通常表现出异常的变化特征。缓冲区分析至关重要,基于污染扩散的理论模型及实地监测数据,在污染源周围建立缓冲区,能精确预测其对邻近地下水水质的可能影响区域,从而为适时实施防护策略提供坚实支撑。网络分析堪称描绘地下水在含水层流动轨迹的强有力工具,它综合考量地形的高低差异与多变的地质特征,有效地甄选出最佳的地下水监测点配置方案,以确保收集到的监测数据能够全面且精确地揭示地下水动态演变,从而辅助研究人员深入探究水文地质现象的空间格局及其内在关联。

2.2.3 可视化表达

在水文地质研究领域,GIS展现其卓越贡献的关键之一,即成功地将复杂难解的水文地质数据转变为直观明了的可视化表达。在地图编制阶段,专业技术人员借助专门的软件工具,细致地将地下水位等值线、含水层布局以及水文地质区划等核心要素,通过特色鲜明的颜色、突出显示的图标和独树一帜的线条形式,精确地呈现于地图之上。通过此种方式,复杂因素的空间分布特性变得直观易见,例如,通过使用不同色彩填充的区域,可以鲜明地呈现各类含水层的分布范围。通过利用专题图表功能,地下水动态变化以及水质参数随时间演化的数据被直观地展示为柱状图、折线图和饼图等多种形式。以折线图为例,它能清晰地展现出多年间某一地区地下水位波动的趋势。可视化技术显著降低了解读水文地质数据的难度,使得科研人员能够高效识别核心数据,从而促进深入的研究工作;决策者通过直观的图表和图形,能准确掌握特定区域的水文地质特征,这为制定水资源管理、污染控制等关键政策提供了坚实的基础^[1]。

3 区域水文地质参数反演方法

3.1 水文地质参数概述

水文地质参数作为关键指标,用于定量阐述地下水系统的特性。渗透率作为评估含水层输送地下水能力的关键指标,其数值的高低受到岩石孔隙度、粒径及其排列组合的影响,是探讨地下水动态过程的核心要素。给水度体现了饱水岩体在重力影响下能释放水量的程度,对于评估地下水资源量具有关键性作用。储水系数被用以表征承压含水层在水位变动下所具有的储水或释水能力。^[2]

3.2 基于 GIS 的参数反演方法

3.2.1 数据驱动的反演方法

基于数据驱动的反演技术通过大规模观测数据来建立参数与关联变量间的数学模型。多元线性回归分析是一种普遍采用的技术手段,其旨在通过量化地下水水位、流量等观测指标与地形特征、地质条件等关键因素之间的线性关联,构建回归模型,进而推断水文地质参数的内在属性。人工神经网络展现出卓越的非线性映射特性,能够对复杂的水文地质系统进行精确建模。通过学习海量样本数据,该方法能自动生成数据特性,并构建输入要素(包括但不限于地形、地质状况、气象信息等)与输出指标(水文地质参数)间的非线性关联模型。以某一地区为例,通过应用人工神经网络模型,将地形高程、岩石类型、降水量等作为输入参数,经过训练过程后,成功实现了对该区域内渗透系数的反演计算。与传统方法相比,此方法在精确度上展现出显著的优越性。

3.2.2 模型驱动的反演方法

基于物理法则的模型导向反演技术,通过构建数学模型来仿真地下水的动态行为,进而融合观测数据以反推水文地质参数。有限差分法将地下水流动区域离散成网格结构,将表示地下水运动的偏微分方程转换为差分方程以实现问题求解。有限元法则将求解领域分解为有限数量的元素,通过为每个元素构建近似函数,以此来解决整个区域内的地下水流动问题。在实践操作中,通过集成数值模型与GIS技术,利用GIS所蕴含的地形、地质等空间信息作为模型的输入参数,并且利用GIS的空间分析能力对模型输出结果进行图形化展示与深入解析。举例而言,通过集成有限元模型与GIS数据,我们构建了特定区域的地下水流动仿真模型。该模型依据水位监测数据持续优化渗透系数等参数设置,直至模型预测输出与实际观测数据呈现出最优一致性,进而完成参数的逆向推算过程。

4 基于 GIS 技术的区域水文地质参数反演应用展望

4.1 与其他技术的融合发展

4.1.1 与遥感技术的融合

遥感技术可获取大面积、集成实时地表数据与GIS技术,能够显著增强区域水文地质参数的反演效能。遥感图像

能够直观揭示地表水体的分布格局及植被覆盖状态,这些数据紧密关联于地下水补给机制与地表径流过程。通过遥感影像解析,能够提炼出关联水文地质的特征指标,例如,运用植被指数来估测蒸散速率,将其作为地下水模型的输入变量。此外,通过利用GIS卓越的数据管理和分析功能,我们将遥感数据与各类水文地质数据融合,构建更为精准的水文地质模型,从而提升参数反演的准确性。以干旱地区为例,结合遥感技术捕获的地表水分数据与GIS提供的地质信息,本研究实现了对该区域渗透系数的精确推算,从而为水资源评估工作提供了坚实的数据支持。

4.1.2 与物联网技术的融合

物联网技术利用传感器持续获取地下水位、水质、流量等信息,并通过网络将这些数据传输至数据中心。集成GIS技术后,能够实现地下水动态变化的即时监控与评估。GIS技术构建了一座空间可视化桥梁,连接物联网数据与实际地理环境,实现传感器获取的信息即时映射于地图之上,从而以直观的方式呈现地下水参数的空间格局及其动态演化趋势。此外,借助于GIS的空间分析能力,整合物联网的即时数据,能够实现地下水系统的动态仿真及参数校正。举例而言,于城市地下水监测领域,借助物联网传感器实现水位数据的即时收集,进而运用GIS技术解析各区域水位变动态势,并结合模型动态推算渗透系数等关键参数,有效识别地下水的非正常现象,从而为城市水资源的高效管理提供即时决策依据。

4.2 提高反演精度与效率的研究方向

4.2.1 改进反演算法

目前,反演算法在精确度及效能上仍存在优化潜力。智能优化技术,包括遗传算法与粒子群优化算法等,日益被应用于水文地质参数的反演之中。遗传算法借鉴生物进化原理,通过执行选择、交配、突变等机制持续精炼参数配置,旨在实现最佳拟合目标。粒子群优化算法借鉴鸟类群体觅食机制,借助个体间的通信与协同作用以探索最优解决方案。未来的探究领域应致力于优化这些算法,以加速其收敛进程、强化全局探索效能,压缩计算周期,并提升反演准确性。以示例而言,优化传统遗传算法,引入自适应交叉和变异概率机制,使得算法能够依据探索过程动态调整参数配置。在特定区域的水文地质参数反演任务中,这一改良策略显著提升了反演的效率与准确性。

4.2.2 多源数据融合与不确定性分析

集成多元数据能有效发挥不同数据类型之长,从而提升参数反演的准确性。除了整合地形、传统地质与水文数据之外,亦可整合地球物理数据以及同位素数据等。然而,来自不同数据源的不确定性,诸如测量偏差、数据分辨率的不一致性等,构成了挑战。因此,进行不确定性分析极为重要。

借助不确定性模型的构建,我们量化了各类数据源对反演结果贡献度的差异性。举例而言,通过应用蒙特卡洛模拟技术,我们考量了数据的不确定因素,进行了多次参数反演实验,探究了结果的统计性质,以此来评估反演结果的可信度,从而为决策制定提供更加科学的支撑,有效降低了由数据不确定性引发的决策风险。

4.3 拓展应用领域

4.3.1 城市水文地质研究

伴随城市化的快速推进,城市水文地质挑战愈发显著。利用GIS技术进行水文地质参数反演,在城市水文地质研究领域展现出广泛的应用潜力。适用于探究城市地下水资源污染传播机制的研究,通过推算渗透率、弥散率等关键参数,借助GIS的空间分析能力,模拟污染物在地下水系统中的播散轨迹及影响区域,从而为污染净化策略的制定提供坚实的科学支撑。针对城市地面沉降问题,通过GIS集成地质信息与地下水水位数据,反推水文地质要素,构建地面沉降模型,以预测地面沉降动态,从而为城市规划及基础设施建设提供科学依据,确保城市的长期可持续发展^[1]。

4.3.2 生态水文研究

生态系统与水文循环密不可分,GIS技术支持下的水文地质参数反演在生态水文学研究领域扮演着关键角色。借助反演水文地质参数,并整合植被覆盖、土壤性质等生态信息,通过GIS技术探讨生态系统与水文循环之间的互动联系。以森林生态系统的案例为例,探讨地下水补给与植被生长之间的关联,通过反推渗透系数等关键参数,构建在多种降水量情景下的地下水补给植被的模拟模型,从而为生态保护与修复策略提供科学依据。于湿地生态系统的探究中,借助GIS技术推演水文地质参数,评估湿地水文特性对生物多样性的效应,以期为湿地的保护及有效利用奠定理论基础。

5 结语

借助GIS技术在数据管理、空间分析及可视化领域的突出效能,该技术为区域水文地质参数的反演提供了革新的策略与方法。借助于数据导向与模型导向的迭代技术,显著增强了参数反演的精确度与执行速度。GIS技术将对区域水文地质研究、水资源的管理、生态系统的保护以及城市的规划等领域产生更加核心的影响,加速这些领域的转型,迈向数字化、智能化与科学化的时代。

参考文献

- [1] 宋悦.基于GIS技术的矿山地质结构勘查与生态修复策略探讨[J].世界有色金属,2024,(21):133-135.
- [2] 左文娜,谿辉.基于GIS技术的矿山空间信息管理与应用研究[J].世界有色金属,2024,(24):217-219.
- [3] 张万里.基于遥感和GIS的滑坡地质灾害风险评估探讨[J].科技资讯,2022,20(23):90-93.