

水文地质参数的现场测试与数值模拟方法比较

常菁

(江苏省地质局第一地质大队, 江苏 南京 210000)

摘要 本文论述了水文地质参数的现场测试与数值模拟方法。首先,详细分析了水文地质测绘、地球物理勘探、钻探等现场测试方法,并阐述了其优势与局限性。其次,深入探讨了数值模拟的基本原理,并概述了模型建立、参数估计、求解算法等流程。通过对比现场测试与数值模拟在数据获取、时空覆盖、成本投入等方面的差异,以期水文地质参数研究提供实践参考。

关键词 水文地质参数; 现场测试; 数值模拟

中图分类号: P5

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0058-03

水文地质研究对于水资源的合理开发与利用具有重要意义。为了深入了解地下水系统的内在规律,科学家们采用了多种研究方法,其中现场测试方法和数值模拟方法是最为重要的两种。现场测试方法能够直接、实时地反映地下环境的真实状态,而数值模拟方法则通过构建数学模型与算法,实现对复杂系统的预测与模拟。本文将对这两种方法进行详细介绍和比较分析,以期水文地质研究提供有力的支持。

1 现场测试方法

1.1 测试方法的种类

1. 水文地质测绘: 通过详尽的地面调查与测量,结合地质、地貌、水文等多学科知识,系统地描绘出地下水系统的空间分布与特征。它不仅是对地下水赋存条件、运移规律及补给排泄关系的直接反映,更是后续水文地质分析与评价的基础。在测绘过程中专业人员需运用精密仪器,如全站仪、GPS等,对地形地貌进行精确测量,同时结合地质勘探资料,划分出不同的水文地质单元。通过详细的地质填图,可以直观地展示含水层的分布范围、厚度变化及岩性特征,为地下水资源的评价与开发提供重要依据^[1]。此外水文地质测绘还注重水文要素的观测与记录,如河流、湖泊、泉水的分布与动态变化,以及地下水位的升降规律等。这些观测数据对于理解地下水系统的循环模式、补给来源及排泄途径具有重要意义。水文地质测绘是一项复杂而精细的工作,它要求测绘人员具备扎实的专业知识、严谨的科学态度及丰富的实践经验。

2. 地球物理勘探: 作为探索地下结构与性质的非侵入性技术手段,其应用在水文地质领域具有显著的

优势与深度。该方法利用岩石、水体等介质间的物理性质差异,如电性、磁性、弹性波传播特性等,通过地表或空中观测到的物理场变化,间接推断地下地质构造、含水层分布及地下水动态。在勘探过程中,多种地球物理方法如电阻率法、电磁法、地震勘探等被灵活运用。电阻率法通过测量地下岩层的电阻率变化,揭示含水层的分布范围与埋深;电磁法则利用电磁场在地下介质中的传播特性,探测地质构造的细微变化;而地震勘探则借助人工激发的地震波在地下的传播与反射,构建地下结构的精细图像。这些地球物理勘探方法不仅具有高效、准确的优点,还能在复杂地质条件下提供丰富的地下信息。它们相互补充,共同构建起地下水系统的三维立体模型,为水文地质研究提供了强有力的技术支撑。

3. 水文地质钻探: 该方法通过钻取岩芯、观测水位及进行水文地质试验,深入探索地下含水层的分布、厚度、岩性、渗透性等关键参数,为地下水资源的评估与开发提供确凿依据^[2]。钻探过程中,钻机以既定角度与深度穿透地表,逐层揭露地下岩层的真实面貌。岩芯的提取与分析,不仅揭示了地层的岩性组成与结构特征,还通过岩芯的含水状态、颜色变化等信息,间接判断地下水的存在与流动情况。同时观测孔内水位随时间的变化,可以了解地下水位的动态特征,评估地下水的补给与排泄条件。水文地质钻探还常结合抽水试验等辅助手段,进一步测定含水层的渗透系数、给水度等水文地质参数,为地下水流动模型的构建提供精确数据。

1.2 现场测试的优势与局限性

现场测试的优势在于能够直接、实时地反映地下

环境的真实状态,通过直接观测、测量与试验,获取第一手数据,为后续的地下水资源评估与管理提供确凿依据。这种直接性不仅增强了数据的可靠性,还促进了理论与实践的紧密结合,推动了水文地质学科的发展。然而,现场测试亦非完美无缺,局限性同样不容忽视。一方面,测试过程往往受到多种自然与人为因素的干扰,如地质条件的复杂性、测试设备的精度限制、人为操作的不当等,均可能对测试结果产生影响,导致数据偏差或误差。另一方面,现场测试通常需要投入大量的人力、物力与财力,且测试周期较长,难以在短时间内获取全面的地下信息。此外,对于某些特殊地质环境,如岩溶地区、高寒山区等,现场测试的难度与风险更是显著增加。现场测试在水文地质勘探中既具有不可替代的优势,又面临着不容忽视的局限性。因此,在实际应用中,我们应充分认识到其特点与限制,采取科学合理的测试方案与数据处理方法,以确保测试结果的准确性与可靠性。

2 数值模拟方法

2.1 数值模拟的基本原理

数值模拟方法作为现代科学计算与工程分析的重要工具,其基本原理植根于数学模型的构建与计算机技术的融合。该方法通过抽象化地描述实际物理过程,建立起一系列数学方程与边界条件,进而利用计算机强大的计算能力,对这些方程进行数值求解,以模拟并预测系统的行为特征^[3]。在数值模拟过程中,数学模型的精确性与适用性至关重要。它要求研究者对研究对象的物理机制有深入的理解,能够准确地将复杂现象简化为可计算的数学模型。同时数值方法的选择与应用也需谨慎考量,以确保计算结果的稳定性、收敛性与准确性。随着计算机技术的飞速发展,数值模拟方法的应用领域日益广泛,从微观粒子运动到宏观天体演化,从流体力学、固体力学到电磁学、热传导等各个领域,均可见其身影。

2.2 数值模拟的流程

1. 模型建立:数值模拟的流程中,模型建立是至关重要的一环,它奠定了整个模拟过程的基础。模型建立始于对实际问题的深刻理解与抽象化表达,研究者需精准捕捉问题的本质特征,忽略非关键因素将复杂的现实世界转化为可计算的数学模型。在构建模型时,需明确系统的边界条件与初始状态,确保模型的完整性与准确性。边界条件限定了系统与外部环境的交互方式,而初始状态则设定了系统模拟的起始点。

通过精细设计数学方程与物理参数,研究者能够定量描述系统的内部机制与外部响应。此外,模型建立还需考虑计算效率与可行性。在保证精度的前提下,优化模型结构减少计算量提高模拟速度是模型建立的重要目标。为此,研究者常采用离散化、网格划分、降维等策略,将连续系统离散化,以便在计算机上高效求解。

2. 参数估计:参数估计是数值模拟与数据分析中不可或缺的一环,它通过观测数据反推模型中的未知参数,以优化模型的预测能力。这一过程要求研究者具备深厚的统计学基础与严谨的求解态度。在参数估计中,选择合适的估计方法是关键。常用的方法包括最大似然估计、最小二乘法、贝叶斯估计等,每种方法都有其独特的优势与适用范围^[4]。例如,最大似然估计通过最大化观测数据出现的概率来求解参数,适用于概率模型;而最小二乘法则通过最小化观测值与模型预测值之间的平方误差来估计参数,广泛应用于线性回归模型。参数估计的精度与可靠性直接依赖于观测数据的质量与数量。在估计过程中,研究者需仔细筛选数据,排除异常值与噪声干扰,确保数据的真实性与代表性。同时,还需考虑参数的物理意义与取值范围,避免出现不合理的估计结果。

3. 求解算法:求解算法是数值模拟与科学计算的核心,它定义了从初始条件出发,逐步逼近问题解的过程。这一过程融合了数学理论、计算机科学与领域知识的精髓,展现出高度的复杂性与艺术性。求解算法的设计需基于问题特性的深入分析,旨在构建高效、稳定且精确的求解路径。对于线性问题,迭代法与直接法是两类基本策略,前者通过迭代更新逐步逼近解,后者则直接求解方程组得到精确解。非线性问题则更为复杂,常需采用牛顿法、梯度下降法等优化算法,结合适当的线性化技巧,实现解的逐步优化。随着计算机技术的飞速发展,并行计算与高性能计算成为求解大规模问题的重要手段。求解算法需适应并行计算环境,通过合理的任务划分与数据通信策略,实现计算资源的有效利用与负载均衡。此外,启发式算法与元启发式算法也在复杂问题求解中展现出独特优势,它们通过模拟自然过程或借鉴人类智能,以非精确但高效的方式寻找问题的近似解。

3 现场测试与数值模拟的比较分析

3.1 数据获取方式的比较

现场测试与数值模拟在数据获取方式上展现出显著的差异与互补性,两者各有千秋,共同推动着科学

研究的深入发展。现场测试作为直接观测现实世界的手段,其数据获取方式具有直观性与实时性。通过实地布点、采样与测量,研究者能够直接获取到污染物的浓度、分布及变化规律等第一手资料。这些数据不仅真实可靠,还能为模型验证提供强有力的支持。然而现场测试也面临着诸多挑战,如人力物力投入大、时间成本高、气象条件限制等,这些因素都限制了测试的范围与精度。相比之下,数值模拟则通过构建数学模型与算法,实现对复杂系统的预测与模拟。其数据获取方式依赖于计算机技术与数值方法,具有高效性、灵活性与可重复性。通过输入初始条件与边界参数,数值模拟能够快速生成大量数据,揭示系统内部的物理与化学过程。数值模拟的准确性高度依赖于模型的构建与参数的设定,若模型简化不当或参数设置不合理,则可能导致预测结果与实际情况存在偏差^[5]。

3.2 空间和时间尺度的覆盖范围

数值模拟依托计算机技术,通过对物理现象的数学建模,实现空间和时间尺度的精细刻画。在空间尺度上,数值模拟可达到分子或原子级别的高分辨率,有助于揭示材料内部的微观机制。然而模拟结果受限于模型精度和计算资源,对于大范围工程问题的覆盖能力相对较弱。在时间尺度上数值模拟可实现从纳秒到数千小时的跨尺度分析,为研究结构长期性能提供有力支持。尽管现场测试与数值模拟在空间和时间尺度上各有侧重,但二者在实际应用中可相互补充。现场测试为数值模拟提供验证和修正的依据,而数值模拟则有助于优化现场测试方案,提高研究效率。如在地震工程领域,现场测试可获取结构在地震作用下的实际响应,而数值模拟则有助于分析地震波传播、结构损伤演化等复杂过程。现场测试与数值模拟在空间和时间尺度覆盖范围上各具特点,通过多角度对比分析,有助于深化对这两种研究方法的理解,为工程问题的解决提供更为全面的视角。

3.3 成本与资源投入的考量

在科学研究与工程实践领域,现场测试与数值模拟作为两种关键方法,其成本与资源投入的考量是决策过程中不可忽视的一环。现场测试往往伴随着高昂的成本与资源投入。从设备购置、人员培训到实地操作,每一步都需精细规划与大量资金支持。尤其在大规模、复杂环境的测试中,还需考虑安全因素、环境影响评估等额外成本。此外现场测试的时间周期较长,可能需要数月甚至数年才能收集到足够的数

据,这进一步增加了资源消耗与机会成本。数值模拟在成本与资源投入上展现出显著优势。通过构建数学模型与算法,数值模拟能够在计算机上模拟出各种物理过程,无需实地操作与大量设备支持。这不仅降低了直接成本,还显著缩短研究周期,使研究人员能够更快地获得初步结果并进行迭代优化。数值模拟还具有高度的可控性,能够轻松调整参数设置与边界条件,以探索不同情境下的物理规律。值得注意的是,数值模拟的精度与可靠性高度依赖于模型的准确性与计算资源的充足性。在构建复杂模型或进行大规模计算时,仍需投入大量资源以确保结果的准确性与可信度。现场测试与数值模拟在成本与资源投入上各有利弊。

4 结束语

本文深入探讨了现场测试与数值模拟在水文地质研究中的应用,比较了两者的数据获取、时空尺度、成本和精度。现场测试能直接反映地下状况,但受限于自然和人为因素,成本高且周期长。数值模拟通过数学模型和计算机技术高效预测系统行为,但准确性依赖模型精度。实际应用中应结合研究需求和条件,科学选择测试方案和数据方法,确保结果准确可靠。同时应整合其他勘探手段构建综合体系,全面深入地探究地下环境,为水文地质研究和水资源管理提供科学支持。

参考文献:

- [1] 邢西金,武晓梅,王凯.浅析水文地质勘探内容及水文技术[C]//河海大学,福建省幸福河湖促进会,福建省水利学会.2022(第十届)中国水利信息化技术论坛论文集.黄委会山东水文水资源局利津水文站,黄河水利委员会中游水文水资源局,黄河水利委员会宁蒙水文水资源局,2022.
- [2] 孙红伟.水文地质钻探的特点与技术分析:评《水文地质钻探与水源井成井技术》[J].人民黄河,2023,45(06):167.
- [3] 黄广灵,万达,陈晖,等.基于数值模拟和水质评价的河流生态补水效果分析[J].水科学与工程技术,2024(03):41-47.
- [4] 王韶晖.基于贝叶斯方法的隧道开挖静力荷载效应概率模型[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [5] 赵建斌,申俊敏,董立山.高填方涵洞受力特性现场测试及数值模拟研究[J].郑州大学学报(工学版),2014,35(03):111-115.