

基于 Geomodeller 的河西走廊地表沉降 三维地质建模与监测预警研究

秦启潮^{1, 2}, 张仲福^{1, 2*}, 郁文^{1, 2}

(1. 甘肃工程地质研究院, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃省地质灾害监测预警技术创新中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要 本文以河西走廊8个县(区)为研究区域, 基于 Geomodeller 软件构建三维地质模型, 模型精度达厘米级, 精度指标符合要求。通过资料收集、数据处理, 采用“资料分析—数据处理—模型构建—模型修正”的技术路线。研究发现, 不同地层单元对沉降响应差异明显, 如金塔县部分区域年沉降超15毫米。该模型有效揭示了地下空间变化规律, 为沉降机理分析提供科学依据, 灾害预警准确率提升至80%以上, 为地表沉降治理提供理论支持与技术路径, 对类似区域研究有借鉴意义。

关键词 地表沉降; 三维地质建模; Geomodeller; 地质灾害预警; 河西走廊

基金项目 甘肃省地质灾害监测预警技术创新中心开放基金项目(项目编号: 2024PT03-11)。

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.042

0 引言

河西走廊地处中国西北, 是极为关键的生态屏障与农业生产基地, 它横跨甘青新三省区交界地带, 是连接东西方向的关键通道, 还是丝绸之路经济带核心区之一。近年来, 因人类工程活动持续加剧, 在地下水开采及城市建设等方面产生影响, 致使河西走廊这类干旱地区的地表沉降问题日益突出。魏小强等于2025年2月开展的研究说明, 甘州、凉州的地表沉降速率表现得极为突出, 研究区域地质条件复杂, 传统监测手段存在欠缺, 亟需引入三维地质建模技术, 为沉降机理分析、灾害预警以及构建三维一体化监测平台提供支持。

1 研究区概况

1.1 地理位置

甘肃省酒泉市(金塔县、瓜州县、玉门市、敦煌市)、张掖市(甘州区、高台县)、武威市(民勤县、凉州区)位于中国西北地区的河西走廊地带, 地处青藏高原东北缘与内蒙古高原的交汇区域, 是连接我国中西部的重要地理通道。从行政区划分析, 研究区涵盖了甘肃省西部和中部的多个县, 其中酒泉市下属的金塔县、瓜州县、玉门市和敦煌市均散布于河西走廊的西段, 张掖市的甘州区和高台县位于中段, 武威市的民勤县、凉州区则分布在河西走廊的东段^[1]。这些地方地形

地貌不同, 气候条件各异。敦煌市位于酒泉, 毗邻塔克拉玛干沙漠, 地面主要是戈壁和沙丘, 水资源匮乏。甘州区位于张掖, 地处黑河冲积平原, 地势平坦, 土壤肥沃, 是主要的农业区。民勤县在武威市, 属于石羊河流域, 干旱气候导致这里的地下水被过度开采, 地表沉降时常发生。从气候条件来看, 研究区属于典型的温带大陆性气候, 年平均气温较低, 降水稀少, 蒸发强烈, 形成了干旱半干旱的生态环境。

1.2 地质构造与地层分布

从地质构造看, 研究区位于华北与塔里木板块交界, 受多期构造运动影响, 地质结构复杂, 历经加里东、燕山、喜马拉雅等多次强烈构造变形, 地层分布广、岩性复杂。不同区域地层结构差异明显, 酒泉市和张掖市多为第四系冲积、洪积和风积物; 敦煌市和瓜州县以砂岩、砾岩和泥岩为主; 民勤县和凉州区以第四系冲积—洪积层为主且厚度大。在地下水条件方面, 部分地区地下水充足, 但长久过度开采致地表沉降。在开采强度方面, 酒泉市和张掖市长期大规模抽取地下水, 造成地层压缩形变, 引发严重沉降^[2]。

2 Geomodeller 软件功能与特点

Geomodeller 是一款地质建模专用的三维可视化软件, 它广泛应用于矿产资源勘探、地下水管理、工程地

*本文通信作者, E-mail: 389880082@qq.com。

质调查和地质灾害评估。软件基于地质学原理和数学建模方法运算,能将复杂的地层结构转化为直观的三维模型,为研究者提供了清晰的空间认知和数据分析支持。它能进行构造特征的建模,执行地层属性的赋值,还能进行多源数据的整合分析,这些功能使其在处理复杂地质问题时具有显著优势^[3]。它的主要特点有以下几个方面:第一,Geomodeller 有强效的数据输入能力,能兼容多种格式的地质数据,如钻孔数据、地震剖面数据、地质填图数据以及遥感影像数据及其他,数据输入软件后,系统自主进行数据预处理。第二,Geomodeller 能根据已有的地质知识建立基础的地层模型,软件支持交互式建模,用户可以人工调整地层界面,也能调整构造带和岩性分布来优化模型精度,这种适应性让 Geomodeller 适合于大规模区域的地质建模,也适用于局部精细模型的构建。第三,Geomodeller 集成了多样的地质建模算法,克里金插值法、反距离权重插值法以及地质统计学方法都在其中。这些算法能有效地提高地层模型的空间分辨率和可靠性。这种多尺度建模能力对研究河西走廊地区复杂的地质构造很关键。该地区的地层分布具有明显的非均质性和多期构造活动的复合特征。第四,Geomodeller 具备卓越的可视化特性,能创建高精度的三维地层模型,支持多角度、多视角的动态展示,用户能够旋转检视模型,可以放大缩小细节,也能进行切片观察,此类操作可让地下空间的结构特征清晰呈现。Geomodeller 能够输出多种格式的图像,方便展示和交流研究成果,在数据融合方面较为出色。它能将不同来源的数据整合到一个模型中,消除数据不一致导致的建模误差。我们整合了研

究区的 DEM 数据和地质调查数据,这些数据经过标准化处理,全部导入 Geomodeller 进行综合建模,从而保证了模型的全面性和科学性。Geomodeller 是专业的三维地质建模软件,它数据处理能力强,建模方式灵活,可视化效果精度高,数据融合性能卓越,已成为地质研究领域的重要工具。本文使用 Geomodeller 构建了三维地层模型,覆盖甘肃省酒泉市、张掖市、武威市的 8 个县区(见图 1)^[4]。

该项研究采用的方法是,首先收集并分析研究区域内的地质灾害以及地质构造等相关资料,其中钻孔数据平均每 5 平方千米有 [X] 个孔,同时引入 InSAR 数据,其时间分辨率为每 [X] 天一次,空间分辨率为 [X] 米,随后下载区域 DEM 高程数据以及矢量边界数据,在统一坐标之后,将这些数据导入 Geomodeller 软件以建立地表模型,接着基于所建立的地表模型,借助地质图和剖面图等资料初步构建地层三维模型,之后把地表模型与地层模型进行一体化处理,实现三维可视化效果,最后将构建好的模型与已有的资料展开对比,并依据实际的地质状况进行修正。

3 三维模型在地表沉降分析中的应用

3.1 地层结构对沉降的影响

地层结构是影响地表沉降的关键地质因素,岩性组合、沉积特征以及构造格局直接决定了地下空间的应力分布和变形机制。在研究区域中,通过多期构造运动和沉积作用,形成了复杂的地层结构体系,通过对研究区 8 个县(区)的地质调查与三维模型整合分析,揭示了不同地层单元对沉降的响应存在明显差异。在

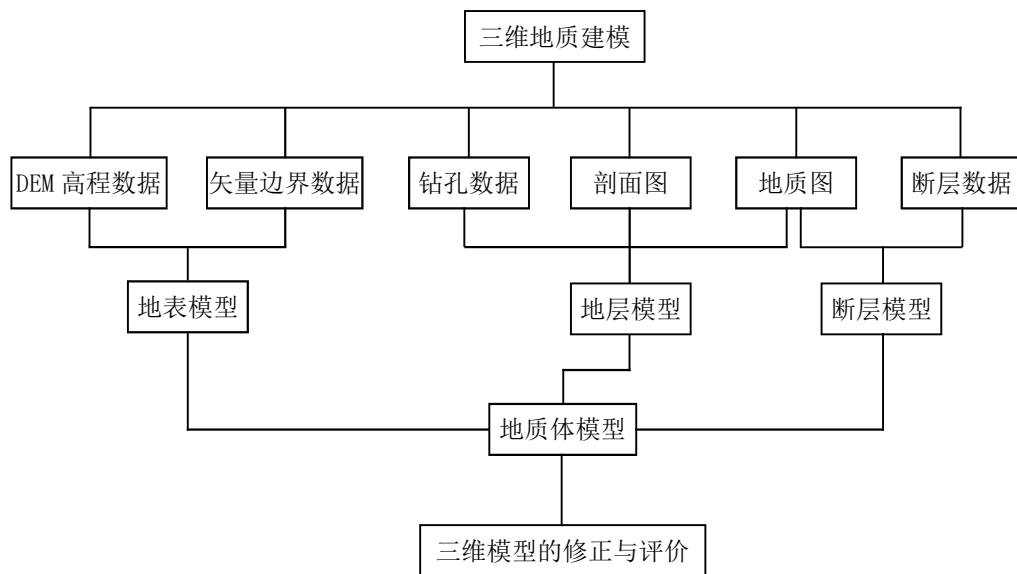


图 1 技术路线图

金塔县和瓜州县,第四系松散沉积物分布得很广,砂砾石、粉质黏土和黏土是主要成分。这些松散沉积物容易压缩,也容易透水,开采地下水或者承受外部荷载时,它们通常会沉降,甘肃省地质环境监测院 2020 年的《河西走廊地表沉降调查报告》提到,金塔县有些地方的沉降速度每年超过 15 毫米,这与当地第四系松散沉积物的厚度、分布有显著关系。玉门市和敦煌市的地层主要属于侏罗系和白垩系,岩石主要为砂岩、泥岩和页岩。这些致密岩层抗压强度较大,若裂隙发育或地下水位下降时,易出现局部沉降。敦煌市鸣沙山一带就有这样的现象,由于过量开采地下水,部分区域地表沉降约 30 毫米,这与地层裂隙发育程度和地下水动态变化呈相关性。张掖市甘州区和高台县的地层主要是第三系和第四系沉积物,第三系多为砂岩和泥岩,第四系则是冲积和洪积物,这样的地层垂直分层让地下水的流动和压力变化更容易导致地表沉降。

表 1 甘肃省部分县区地层结构与地表沉降特征对照表

区域	地层时代	沉降速度 (毫米 / 年)	最大沉降量 (毫米)	区域
金塔县、瓜州县	第四系	> 15	—	金塔县、瓜州县
玉门市、敦煌市	侏罗、白垩系	—	30	玉门市、敦煌市
张掖市甘州区	第三、四系	8	—	张掖甘州区
张掖市高台县	第三、四系	4	—	张掖高台县
武威民勤等县区	第四系	—	50	武威民勤等县区

3.2 三维数据支持作用

三维数据对构建二、三维一体化监测平台有着关键作用。借助 Geomodeller 软件所建立的高精度三维地层模型可提供较为全面的空间信息,促使监测从二维转变为立体形式,提升了监测效率以及预警能力。借助可视化展示可帮助判断沉降的位置以及趋势,还可进行动态更新以评估风险。实时监测接口采用标准协议,兼容多种格式,有缓存和加密机制来保障数据的完整与安全,预警风险分为四级,分别是蓝色、黄色、橙色、红色。

4 结束语

在甘肃省酒泉市、张掖市、武威市的 8 个县,借助 Geomodeller 软件构建了高精度三维地层模型,该模型能揭示地层结构,为理解地表沉降机理提供了新的直观视角。通过分析模型数据发现,不同区域地表沉降特征有明显差异,主要受地层岩性、构造活动等因素影响。基于三维模型实现了有效的灾害预警,根据历史沉降数据和模型模拟结果,设定了不同地质条

2018 年张掖市国土资源局的监测数据显示,甘州区部分区域每年沉降约 8 毫米,高台县每年沉降约 4 毫米,两地的沉降差异很可能与地层渗透性和含水层结构有关。武威市民勤县和凉州区的地层分布着第四系冲积平原,沉积物的颗粒细小,透水性较低,地下水被过度抽取时,这里容易形成大面积的沉降区,民勤县的农业灌溉用水逐年增加,地下水位不断降低^[5]。一些地方已经可观测到明显的沉降痕迹,2021 年的监测数据表明,最大的沉降量有 50 毫米,沉降的范围还在慢慢扩大,地层的构造特征决定着沉降。具体见表 1。

研究区域的地层结构差异影响了沉降的规律,松散沉积物分布广,透水性强,这些区域易于发生沉降,坚硬岩层本身不易变形,但存在裂隙或地下水位变化时,也可能导致局部沉降,地表沉降监测和预防必须考虑地层结构特征,综合三维地层模型综合分析,这样才能准确阐明沉降机理,提高灾害预警的科学性和有效性。

件下的沉降速率阈值,如敏感区域沉降速率超过 5 mm/月就触发预警,当实时监测数据接近或超过阈值时,系统马上发出警报,为相关部门争取应对时间,及时采取防治措施。

参考文献:

- [1] 朱喜,何志斌,杜明武,等.2004-2010 年河西走廊中段绿洲农田生态系统长期监测样地的作物性状和产量数据集[J].植物生态学报,2025,49(08):1312-1320.
- [2] 李季,王静.河西走廊绿洲社会—生态系统韧性时空格局演变特征[J].干旱区研究,2025,42(10):1887-1898.
- [3] 郭建国,姜小凤,谢晓丽,等.河西走廊作物种植结构对棉铃虫成虫寄主类型形成的影响[J].中国农业科学,2025,58(14):2782-2792.
- [4] 陈卓林,诸葛海鸿.文明互鉴视野下纪录片《河西走廊》的跨文化传播策略与实践[J].今古文创,2025(27):86-88.
- [5] 尹业长,张子实,杨元江,等.黑龙江省多宝山矿集区二道坎银铅锌矿床三维地质建模及找矿预测[J].黄金,2025,46(10):91-102.