

工程地质三维模型构建方法及应用

王楠 刘少宁 李雪莉

河北省地球物理勘查院(河北省浅层地热能研究中心) 河北 廊坊 065000

河北省地球物理勘查有限公司 河北 廊坊 065000

摘要: 工程地质三维模型是一种重要的工具,可以帮助工程师全面了解工程所处的地质环境,预测潜在的地质风险,并进行风险评估和管理。本文介绍了工程地质三维模型的构建方法,包括地质数据采集、数据处理与建模、模型验证等步骤。同时,还探讨了工程地质三维模型在工程规划设计、施工过程管控、工程风险评估和管理等方面的应用。

关键词: 工程地质; 三维模型构建; 方法及应用

1 三维模型构建在工程地质中的重要性

三维模型构建在工程地质中具有重要的意义和应用价值。首先,三维模型可以提供真实、直观的地质信息,使工程师和决策者对地下地质情况更加清晰地理解。传统的工程地质研究主要依靠二维的图纸和剖面,存在容易理解和解读的局限性。而通过三维模型的构建,可以将地质情况以更直观的形式展示出来,使人们能够更好地认识地下地质体和构造特征。其次,三维模型的构建可以帮助工程师进行更准确的工程规划和设计。地质条件是工程建设中非常重要的因素之一,对于地下隧道、基础工程等工程项目来说,地质情况的准确了解和分析非常重要。通过三维模型,可以更加精确地模拟地下地质情况,预测和评估不同施工方案下的可能风险和影响。这样可以在工程规划和设计阶段就提前考虑地质因素,减少后期的变更和风险。此外,三维模型在施工过程管控和工程风险管理方面也发挥着重要的作用。通过实时更新和调整地质模型,可以及时监测地质变化,分析风险隐患,优化施工策略,提高工程的安全性和效率^[1]。在工程风险评估和管理中,基于三维模型的分析方法可以帮助工程师识别和评估地质风险,提前采取相应的措施,降低工程风险。

2 工程地质三维模型构建方法

2.1 数据获取和处理

2.1.1 地质勘探数据获取

地质勘探数据获取是工程地质三维模型构建的重要环节。地质勘探是通过采集地质样本和进行测量观测来获取地下地质信息的过程,包括钻孔、测量、地球物理勘探等多种方法。钻孔是获取地质信息最常用的方法之一。通过钻孔可以获取地下不同深度的岩石样本,包括岩石性质、地层分布、地下水位等信息。常见的钻孔方

法有岩土工程钻孔、地质勘探钻孔等。钻孔过程中,需记录钻孔的坐标、孔深、取样位置、取样类型等信息,以及观测到的地质现象和特征。测量是另一个获得地质信息的重要方法。常见的测量方法有地面测量和地下测量。地面测量可以通过测量地表地形、构造断裂、地下水位等来提供地表和地下地质信息。地下测量包括地下水位测量、孔隙水压力测量等,用于了解地下水的分布和流动特征。地球物理勘探是利用物理现象和方法进行地下地质信息获取的方法。常用的地球物理勘探方法有地震勘探、重力勘探、电磁勘探等^[2]。地震勘探通过记录地震波在地下传播的速度和反射情况,揭示地下的岩石结构和地层信息。重力勘探通过测量地球重力场的变化,推测地下的物质分布和地表与地下的联系。电磁勘探则利用电磁波在地下不同介质中的传播特性,分析地下的物质性质和分布。

2.1.2 数据清洗和处理

工程地质三维模型构建的第二步是对采集到的地质数据进行清洗和处理。数据清洗和处理是为了提高数据的质量和准确性,以便后续的模式分析和建模。首先,数据清洗涉及到对原始数据进行噪声和异常值的剔除。在地质数据采集过程中,可能存在各种噪声和异常值,比如测量误差、设备故障、人为错误等。通过数据清洗,可以有效地剔除这些噪声和异常值,保证数据的可靠性和准确性^[3]。其次,数据处理包括数据插补、空间一致性处理和坐标转换等。数据插补是指对缺失数据进行估计和补全,使数据的完整性得到保证。插补方法可以使用插值算法或有限元分析等技术进行。空间一致性处理是指对数据进行去除一致性差异或进行空间拟合,使得数据中各个点的空间分布达到一定的一致性。这可以通过拟合技术(如拟合曲面、拟合平面等)或者空间插

值算法（如克里金插值、反距离权重插值等）来实现。坐标转换指将采集到的数据统一转换为参考坐标系，以确保数据的一致性和可比性。常见的坐标转换方法包括三参数、七参数或十二参数法等。数据处理还可以涉及到对数据的归一化、标准化或者归类等操作，以便于进行后续的数据分析和模型构建^[4]。

2.2 地质建模方法

2.2.1 三维地质边界建模

下面是三维地质边界建模的一般步骤和方法：（1）数据准备：首先，需要准备原始地质数据，包括钻孔、地质剖面、地球物理资料等。这些数据应经过清洗和处理，确保质量和准确性。（2）描述地质特征：基于采集到的数据，需要对地质特征进行描述，包括岩性、构造、层序、断层等。通过对地质特征的详细描述和分析，可以为后续的边界建模提供依据。（3）选择合适的边界建模方法：根据具体的地质情况和研究目标，选择适合的边界建模方法。常见的方法包括地质统计方法、地统计模型、三维地质建模软件等。（4）边界规则定义：通过确定合适的边界规则，将地质体划分为不同的单元。边界规则可以基于地质特征的空间分布、模拟的物理过程或统计分析的规律^[1]。（5）数据插值：利用地质统计方法或插值算法，将已知的地质特征属性值插值到整个区域的网格上，以确定各个单元内的地质特征属性。（6）边界模糊化处理：边界建模中常常存在边界不明确或模糊的情况。通过模糊化处理，可以将边界进行模糊化表示，并基于概率等准则确定边界的不确定性。（7）边界验证和验证：建立的三维地质边界模型需要进行验证，以评估模型的准确性和可靠性。这可以通过验证已有的地质观测数据和工程验证来完成。（8）模型调整和修正：根据验证结果，对模型进行调整和修正，以使模型更加准确和合理。

2.2.2 三维地质模型重建算法

三维地质模型重建是将地质特征从已有的地质数据中提取，并在虚拟的三维空间中重构地质模型的过程。下面介绍几种常用的算法：（1）体素模型构建：该算法将地质模型划分为小的立方体单元，即体素。每个体素根据采集到的地质数据属性赋予相应的属性值。这一方法适用于连续性较好的地质模型，如岩相模型、床层模型等。体素模型构建可以通过体素化、体素化插值等算法实现。（2）曲面拟合：将离散的地质数据点通过曲面拟合算法，生成连续的地质模型曲面。常见的曲面拟合算法有曲线拟合、贝塞尔曲面、B样条曲面等。该方法适用于曲面连续性较好的地质模型，如地层界面的重

建^[2]。（3）克里金插值：该插值算法基于空间的自相关性，通过计算已知地质数据点与待推测点之间的相关关系，来推测待推测点的地质属性。克里金插值方法适用于地质属性的连续性分布估计，比如地层厚度、物性参数等。（4）反距离权重插值：该插值算法基于离散点的邻域距离，通过对距离的加权平均来推测待推测点的地质属性。反距离权重插值方法适用于离散点数据的空间插值，如地震数据的体积插值。（5）网格构建：该方法将地质模型转化为规则的网格结构，并在各个网格单元中赋予地质属性。常见的网格构建方法有三维有限元技术、三角网格技术等。这种方法适用于复杂地质体的模拟和表达，如断层模型和隐伏矿体模型。综合应用不同的算法和技术，可以构建出准确、可靠的三维地质模型，为地质工程和资源勘探提供有效的支持^[3]。

3 工程地质三维模型的应用

3.1 工程规划和设计

工程地质三维模型在工程规划和设计中具有重要的应用价值。通过建立工程地质三维模型，可以对工程所处的地理和地质环境进行全面分析和评估。模型中包含的地质特征、地层结构和地质构造等信息能够提供准确的基础数据，帮助工程师深入了解项目所涉及的地质情况，从而在规划和设计中合理处理地质问题，减少工程风险。工程地质三维模型能够模拟和预测地质灾害，如滑坡、泥石流、岩溶塌陷等。通过模型分析地质特征、地形地貌和地下水情况等因素，可以发现潜在的灾害危险点，并提前采取相应的防治措施，保证工程的安全和可靠性。通过工程地质三维模型，可以评估工程对周边地质环境的影响。模型能够模拟工程施工和运营阶段产生的地下水变化、土壤侵蚀、岩石变形等影响因素，为环境保护和生态平衡提供依据，减少对环境的不良影响^[4]。工程地质三维模型能够对土地开发和资源利用提供有益的支持。通过模型分析土地地质特征和土壤质量等因素，可以确定土地的适宜用途，指导土地规划和开发利用，提高土地利用效率。

3.2 施工过程管控

工程地质三维模型在施工过程管控中起到了关键的作用。下面详述工程地质三维模型在施工过程管控中的几个主要应用方面：（1）施工平面布置：通过工程地质三维模型，可以对施工现场地质条件进行准确的分析和评估。模型中包括的地质特征、地形地貌和地下水等信息，可以帮助规划施工平面布置，选择合适的施工位置和工程路径，避开地质障碍物和潜在的地质灾害风险点。（2）施工进度控制：工程地质三维模型能够模拟

和预测地下岩石、土壤的变形和破坏情况。在施工过程中,通过实时监测地质状况与三维模型对比,可以及时调整施工进度,并采取相应的支护措施,保证施工的安全和顺利进行。(3)地下管线布置:在施工过程中,需要进行地下管线的布置和穿越工作。通过工程地质三维模型,可以准确了解地下岩石、土壤的特性和地下水的情况,为管线的选址和穿越提供依据。同时,模型可以进行碰撞分析,避免管线与地质体或其他施工设施的冲突^[1]。(4)施工质量控制:工程地质三维模型可以辅助施工质量控制。通过与模型对比,可以评估施工场地的地质变化、土壤稳定性等情况,及时发现和处理施工质量问题,确保工程的安全性和可靠性。(5)施工安全管理:工程地质三维模型可以为施工安全管理提供重要的依据。通过模型分析地质特征和地质灾害情况,可以预测和评估潜在的地质灾害风险,以及施工过程中可能遇到的地质问题。在施工中,可以采取相应的措施,避免地质灾害的发生,保障施工人员的安全。

3.3 工程风险评估和管理

通过建立工程地质三维模型,可以系统地收集和和分析有关地质特征、地层结构、地下水位等信息。通过对模型中地质数据的评估,可以识别各种潜在的地质风险,如地质灾害、地下水渗流等,并对其风险程度进行评估。这有助于工程团队了解工程风险的来源和潜在影响,从而制定相应的风险管理策略。基于工程地质三维模型,进行风险分析和模拟。通过模型的准确表达,可以模拟工程施工、地质变形、土体稳定性等因素对风险的影响,进而分析风险发生的概率和影响程度。通过风险模拟,可以预测可能的风险情况,为制定预防和应对措施提供依据。工程地质三维模型可用于风险的预警和控制。通过实时监测地质环境的变化和与模型的对比,及时发现潜在的风险,并采取相应的控制措施来减少风险的发生或扩大。这有助于提高工程施工的安全性和可靠性。工程地质三维模型能够直观地展示风险情景,通过图形化的表达,将复杂的地质风险信息传递给利益相关者。这有助于更好地沟通风险信息和风险管理措施,提高决策的科学性和合理性^[2]。基于工程地质三维模型,制定风险管理策略和防范措施。这有助于降低风险的发生和对工程的不利影响,确保工程的安全和顺利进行。

3.4 地质模型在工程风险管理中的应用

工程地质三维模型在工程风险管理中的应用是至关重要的。以下是地质模型在工程风险管理中的几个主要应用方面:首先,通过建立工程地质三维模型,可以对地质风险进行准确的识别和评估。地质模型可以集成各类地质数据,包括地质特征、地层结构、地下水位等信息,帮助工程师全面了解工程所处的地质环境。通过对模型中的地质数据进行分析 and 评估,可以在工程规划和设计阶段就预测潜在的地质风险,从而制定相应的风险管理策略。其次,地质模型可用于风险分析和模拟。通过模型的建立和模拟,可以评估地质因素对工程的影响,如地质灾害、地质变形等。同时,可以进行风险的概率评估,预测可能的风险事件发生概率和影响程度。这些分析和模拟结果为工程风险管理提供了科学的依据,有助于制定合理的风险防范和控制措施。此外,地质模型也有助于风险预警和控制。通过实时监测地质环境的变化,并将其与地质模型进行对比分析,可以及时发现潜在的风险信号。最后,地质模型的应用还可以用于风险沟通和决策支持。地质模型可以以直观的方式展示地质风险情景,便于与相关人员进行沟通和共享。通过可视化的呈现方式,可以更好地传达地质风险信息和相关风险管理措施,从而促进决策的科学性和合理性。

结束语

工程地质三维模型的应用在工程规划设计、施工过程管控和工程风险评估和管理中具有重要的意义。工程地质三维模型为工程师提供了科学的工具和依据,帮助他们做出正确的决策,确保工程的安全和可靠进行。随着技术的不断发展,工程地质三维模型的应用还将进一步扩大,为工程建设提供更加可靠的支持。

参考文献

- [1]王杰,孟高原,倾斜摄影测量在水利水电工程测绘中的应用[J],测绘通报,2019,(06):160-162.
- [2]水利水电工程地质测绘规程(SL/T299-2020),中华人民共和国水利部
- [3]李乃强,倾斜摄影三维建模技术探讨,江西测绘,2020(01):33-35.
- [4]吴仙丝,基于倾斜摄影测量技术构建实景三维模型,商品与质量,2018(02):159.