

地质工程复杂地质体可视化技术研究

董 刚¹ 范同栋² 秦玉鑫²

1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710100

2. 青海省水利水电勘测规划设计研究院有限公司 青海 西宁 810003

摘 要：复杂地质体因其结构复杂、岩性多样、空间分布不均及物理化学性质变异而难以研究。可视化技术通过数据采集、映射及图形绘制等步骤，将地质体信息转化为直观视觉表示。本文探讨了地质工程复杂地质体可视化技术的原理、分类及关键技术。阐述了地质体数据获取与预处理、三维建模、可视化策略与算法优化、高级交互与用户界面定制及可视化成果输出与应用等可视化关键技术。近年来，该技术取得了显著创新与发展，为地质工程决策提供了科学依据。

关键词：地质工程；复杂地质体；可视化技术

引言：为了更直观地理解和分析这些复杂的地质结构，可视化技术应运而生。本文旨在深入探讨地质工程复杂地质体可视化技术的原理、分类及关键技术，并分析其近年来的创新与发展趋势。通过本文的研究，期望为地质工程的科学研究、工程实践提供有力的技术支持。

1 复杂地质体的概念及特点

1.1 复杂地质体的概念

复杂地质体，是指在地质构造、岩性组合、空间分布以及物理化学性质等方面表现出高度复杂性和多变性的地质实体。这些地质实体可能包括复杂的断层系统、褶皱构造、岩浆侵入体、变质带以及多种岩性相互交织的地层等。它们在地表形态上展现出多样化的特征，而且在地下深处也隐藏着许多未知和难以预测的地质结构。复杂地质体的形成往往与地球长期的地质演化过程密切相关。在漫长的地质历史中，地壳经历了多次的构造运动、岩浆活动、沉积作用以及变质作用等，这些过程相互叠加、交织，形成了如今我们所见到的复杂地质体。

1.2 复杂地质体的特点

在地质学的广阔领域中，复杂地质体以其独特的魅力和挑战性吸引着无数地质学家和工程师的目光。这些地质实体不仅在地表形态上展现出多样化的特征，更在内部结构和物理化学性质上表现出极高的复杂性和多变性，其特点主要有以下方面：（1）结构复杂性。复杂地质体的结构往往极为复杂，包括多种类型的断层、褶皱和岩浆侵入体等。这些结构在空间上相互交织、叠加，使得地质体的整体形态和内部构造变得极为难以捉摸。这种复杂性增加了地质勘探的难度，也对工程建设和矿产资源开发提出了更高的挑战。（2）岩性多样性。复杂地质体通常由多种不同的岩石类型组成，这些岩石在成

分、结构、纹理以及物理化学性质等方面都存在显著的差异。岩性的多样性增加了地质体的复杂性，也对地质工程的稳定性和安全性构成了潜在的威胁。（3）空间分布不均性。复杂地质体在空间上的分布往往极为不均，有的地区地质条件相对简单，而有的地区则极为复杂。这种不均性使得地质勘探和工程建设需要根据具体的地质条件来制定相应的方案和措施。（4）物理化学性质变异性。复杂地质体的物理化学性质往往存在较大的变异性，如岩石的强度、透水性、抗风化性等^[1]。这些性质的变异性不仅影响了地质体的稳定性和耐久性，也对地质工程的设计和施工提出了更高的要求。

2 地质工程复杂地质体可视化技术原理与分类

2.1 可视化技术原理

在地质工程领域，复杂地质体的研究往往涉及大量的地质数据和信息。为了更直观地理解和分析这些复杂的地质结构，可视化技术成为了一种重要的手段。地质工程复杂地质体可视化技术的基本原理，是将地质体的各种数据信息，通过计算机图形学和图像处理技术，转化为直观的、易于理解的视觉表示形式。实现这一过程，第一需要对地质体进行详细的数据采集。这包括通过地质勘探、钻探、物探等多种手段获取的地质数据，如地层分布、岩性特征、构造形态等。这些数据经过预处理，如去噪、配准、插值等，以提高数据的准确性和一致性。第二是数据映射阶段。由于地质体的复杂性，数据映射需要考虑多种因素，如地质结构的层次性、岩性的多样性以及空间分布的不均性等。通过合理的数据映射规则，将地质数据的属性（如岩性、年代、物理性质等）与视觉元素（如颜色、纹理、形状等）相对应，形成具有地质意义的图形或图像。第三是图形绘制和交

互处理阶段。利用计算机图形学技术,将映射后的数据转化为直观的二维或三维图形,如地质剖面图、三维地质模型等。通过交互功能,如缩放、旋转、切割等,使用户能够更深入地探索地质体的内部结构和特征。

2.2 可视化技术分类

根据地质工程复杂地质体的特点和可视化技术的实现方式,可以将地质工程复杂地质体可视化技术分为以下多种类型。(1)二维可视化技术。这种技术通过将地质体的某些特征或属性以二维图形的形式展示出来,如地质剖面图、等值线图、地质图等。二维图形虽然无法完全展示地质体的三维空间形态,但在表达地质体的某一特定层面或属性方面具有独特的优势,且制作相对简单,易于理解和交流。(2)三维可视化技术。三维可视化技术通过构建地质体的三维模型,将地质体的空间形态和内部结构以三维图形的形式呈现出来。用户可以通过旋转、缩放、切割等操作,全方位地观察和分析地质体的特征^[2]。三维可视化技术不仅直观形象,而且能够提供地质体的全方位视角,对于理解地质体的构造和演化过程具有重要意义。

3 地质工程复杂地质体可视化关键技术

3.1 地质体数据获取与预处理技术

在地质工程领域,地质体数据的获取与预处理是三维建模和可视化的基础环节,其中多源数据集成技术、数据清洗与去噪技术以及数据插值与网格化技术扮演着至关重要的角色。

3.1.1 多源数据集成技术

地质体数据来源于多种勘探手段,如地质调查、钻探、物探和遥感等。这些数据格式各异,坐标系也不统一,给后续处理带来了挑战。多源数据集成技术应运而生,它通过数据格式转换、坐标系统一化以及数据融合等手段,将这些不同来源的数据有效地整合成一个统一的数据集。这一过程确保了数据的兼容性和一致性,还为后续的三维建模和可视化提供了坚实的基础。

3.1.2 数据清洗与去噪技术

原始地质数据中常含有噪声、异常值和缺失值,这些问题会严重影响三维建模和可视化的准确性。为了解决这个问题,数据清洗与去噪技术应运而生。它运用统计分析、滤波处理等方法,对原始数据进行预处理,有效去除噪声和异常值,填补缺失值,从而提高数据的准确性和可靠性。这一步骤是确保后续建模和可视化结果准确性的关键。

3.1.3 数据插值与网格化技术

地质体数据在空间上往往是不连续的,这给三维建

模带来了困难。数据插值技术通过算法将离散的数据点转化为连续的曲面或体数据,使得地质体的形态和特征得以更准确地表示。同时,为了方便后续的三维建模和可视化处理,还需要将数据网格化,即将数据划分为规则或不规则的网格单元。这一步骤是实现地质体三维建模和可视化的关键所在。

3.2 地质体三维建模技术

3.2.1 表面建模技术

表面建模技术主要聚焦于地质体的外表面形态,如地层界面、断层等特征的表示。在这一技术中,三角剖分法和四边形剖分法是两种常用的方法。这些方法通过精确地连接离散的数据点,形成一个连续、完整的表面网格,从而构建出地质体的外表面模型。表面建模技术因其计算量相对较小,且生成的模型直观易懂,而广受欢迎。但它的局限性在于无法表示地质体的内部结构,仅提供外部形态的信息。

3.2.2 实体建模技术

与表面建模技术不同,实体建模技术能够深入表示地质体的内部结构和属性分布。体素法、四面体剖分法是实体建模中常用的方法。这些方法通过将地质体划分为一系列规则或不规则的体素或四面体单元,来构建出地质体的三维实体模型。实体建模技术因其高精度和能够全面表示地质体内部结构的特点,而备受青睐。但这种技术的计算量相对较大,对计算资源有一定的要求。

3.2.3 混合建模技术

混合建模技术是一种结合了表面建模和实体建模优点的建模方法。它通常先通过表面建模技术构建出地质体的外表面模型,然后再利用实体建模技术来填充其内部结构。这种方法既能够直观地展示地质体的外表面形态,又能够准确地描述其内部结构,因此在实际应用中具有广泛的适用性和优势^[3]。

3.3 可视化策略与算法优化技术

3.3.1 可视化策略选择

根据地质体的特点和可视化需求,选择合适的可视化策略至关重要。常用的可视化策略包括颜色映射、纹理映射、光照处理、阴影生成等。颜色映射通过将地质体的属性数据映射到颜色空间,以颜色变化表示属性变化;纹理映射通过将纹理图像映射到地质体表面,增加模型的真实感;光照处理和阴影生成则通过模拟光照效果,提高可视化效果的真实感和立体感。

3.3.2 算法优化技术

为了提高可视化效率和效果,需要对算法进行优化。常用的算法优化技术包括加速渲染算法、数据压缩

算法、并行计算技术等。加速渲染算法通过减少渲染过程中的计算量,提高渲染速度;数据压缩算法通过压缩地质体数据,减少数据存储空间,提高数据传输速度;并行计算技术则通过利用多核处理器或分布式计算资源,提高计算效率。

3.3.3 交互式可视化技术

交互式可视化技术允许用户与地质体的三维模型进行互动,如旋转、缩放、切割等操作。这种技术通过提供直观的交互界面和交互方式,使用户能够更深入地探索和分析地质体的特征。交互式可视化技术需要结合用户需求和操作习惯进行设计,以提高用户的使用体验和效率。

3.4 高级交互与用户界面定制技术

3.4.1 高级交互技术

高级交互技术不仅限于基本的旋转、缩放、切割等操作,还涵盖了更复杂的交互方式,如地质体的剖面分析、动态模拟与演化展示等。这些技术通过先进的图形处理算法和实时渲染技术,使用户能够更深入地了解地质体的内部结构和动态变化过程。剖面分析技术允许用户选择任意方向对地质体进行剖面切割,并实时查看剖面图,从而更直观地理解地质体的空间分布特征。

3.4.2 用户界面定制技术

用户界面定制技术则侧重于根据用户的特定需求和偏好,提供个性化的界面布局和功能设置。通过灵活的界面设计工具和配置选项,用户可以自定义界面的颜色主题、图标大小、菜单布局等,使界面更加符合自己的使用习惯。用户界面定制技术还支持用户添加或删除特定功能模块,以满足不同地质工程任务的需求。

3.5 可视化成果的输出与应用技术

3.5.1 高质量图像与动画输出技术

为了更直观地展示地质体的三维模型和特征,高质量图像与动画输出技术显得尤为重要。这项技术通过先进的渲染算法和图像处理技术,能够生成高分辨率、高逼真度的地质体图像和动画。这些图像和动画可以清晰地展示地质体的形态、结构、属性分布等信息,为地质工程师提供直观、准确的视觉参考。

3.5.2 可视化成果的交互式展示技术

除了静态的图像和动画输出,可视化成果的交互式展示技术也是不可或缺的一部分。这项技术通过集成交互式可视化技术,使用户能够在浏览器中或特定的交互式平台上,对地质体的三维模型进行旋转、缩放、切割

等互动操作。这种交互式展示方式提高了用户的参与感和沉浸感,还使得地质体的特征更加易于理解和分析。

3.5.3 可视化成果在地质工程中的应用

可视化成果在地质工程中具有广泛的应用价值。在地质勘查阶段,可视化成果可以帮助地质工程师更准确地识别地层界面、断层等地质特征,为后续的工程设计提供可靠依据。在工程施工过程中,可视化成果可以实时监测工程进展和地质变化,及时发现并处理潜在的地质问题。可视化成果还可以用于地质灾害评估、资源勘探、环境保护等多个领域,为地质工程的科学决策提供有力支持。

4 复杂地质体可视化技术的创新与发展

地质工程复杂地质体可视化技术近年来取得了显著的创新与发展,主要体现在以下方面:(1)随着计算机图形学技术的不断进步,可视化技术的渲染效果和真实感得到了极大提升。现在能够利用高级渲染算法,如光线追踪、全局光照等,生成更加逼真、细腻的地质体三维模型,为地质工程师提供更加直观的视觉体验。(2)可视化技术与人工智能、大数据等前沿技术的融合,为地质体可视化带来了新的可能性。通过智能算法对地质数据进行深度挖掘和分析,可以更准确地揭示地质体的内在规律和特征,为地质工程的决策提供更加科学的依据。(3)交互式可视化技术也在不断创新。现在,用户不仅可以通过传统的鼠标、键盘进行交互,还可以通过触摸屏、语音识别等更加自然、便捷的方式进行操作。这种创新极大地提高了用户的使用体验和效率,使得地质体可视化技术更加易于普及和应用。

结束语:地质工程复杂地质体可视化技术在地质勘探、工程设计、施工监测等多个领域发挥着重要作用。随着计算机图形学、人工智能、大数据等技术的不断进步,可视化技术在渲染效果、数据分析、交互式操作等方面取得了显著创新与发展。可视化技术将继续深化与前沿技术的融合,提升地质体模型的逼真度和互动性,为地质工程的科学决策提供更加直观、准确的视觉参考。

参考文献

- [1]柴航.地质工程复杂地质体可视化技术研究[J].工程施工新技术,2025,4(1):33-34.
- [2]孙文雨.地质工程复杂地质体可视化技术研究[J].工程学研究与应用,2024,5(2):11-12.
- [3]林建.地质工程复杂地质体三维建模和可视化研究[J].现代工程项目管理,2024,3(19):21-22.