

地质工程复杂地质体三维建模和可视化研究

林 建

福建高能建设工程有限公司 福建 福州 350001

摘要：随着地质勘探技术的进步和地质工程需求的提升，对复杂地质体的三维建模与可视化技术的要求也日益增高。本文详细探讨了复杂地质体的三维建模流程，包括数据采集、预处理、建模方法及模型优化等关键步骤，并进一步深入研究了三维模型的可视化展现技术，旨在为地质工程的深入研究和应用提供更为精细化、直观化的技术支持。

关键词：地质工程；复杂地质体；三维数据建模；数据可视化

引言

地质体的复杂性不仅体现在其形态多样，更在于其内部结构和物性的不均一性。传统的二维图表难以全面、准确地展现这些特性，而三维建模与可视化技术则为解决这一问题提供了有效途径。本文将从数据采集到模型可视化的全过程进行详细阐述，以期为该领域的研究者提供有益的参考。

1 地质工程复杂地质体三维建模的理论基础

复杂地质体三维建模是基于地质学、计算机科学、图形学等多学科交叉的产物。它通过对地质数据的采集、处理和分析，构建出能够真实反映地质构造特征的三维模型（图1）。这些模型不仅可以帮助工程师更好地理解地质条件，还能为后续的工程设计、施工提供重要依据。

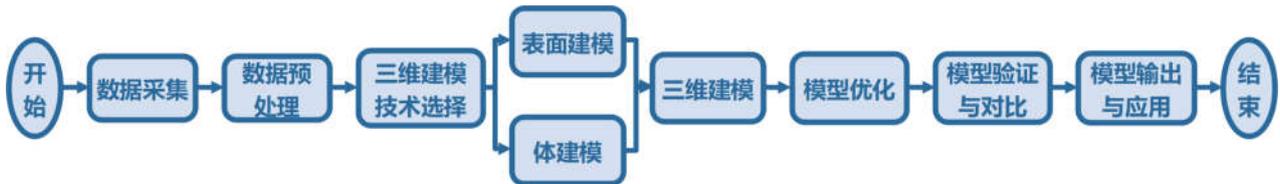


图1 地质工程复杂地质体三维建模流程示意图

2 地质工程复杂地质体三维建模方法

2.1 数据采集与处理

2.1.1 数据采集

地质工程复杂地质体三维建模的首要环节便是数据采集，这一步骤的重要性不言而喻，因为它直接关系到后续建模的准确性和精细度。为了确保所采集数据的全面性和高质量，必须综合运用多元化的地质数据采集技术。这些技术包括但不限于地质勘探、钻探取样以及地球物理勘探方法，如重力测量、磁力测量和地震勘探等。通过这些技术手段，可以系统地收集到关于地质体的形态、内部构造、物理性质等全方位的信息。在数据采集的过程中，要特别注意确保数据的全面覆盖和代表性，这样才能准确捕捉地质体的核心特征和微观细节，从而为后续的三维建模提供坚实的基础^[1]。此外，数据的可获取性和采集成本也是不可忽视的考量因素。在满足建模精度要求的前提下，需要权衡数据采集的难易程度和经济效益，以确保项目的整体可行性和效率。

2.1.2 数据预处理

数据预处理是地质工程复杂地质体三维建模过程中不可或缺的一环。在数据采集后，所获得的原始地质数据通常会包含各种噪声和异常值，这些不利因素有可能对三维建模的精确性和稳定性产生显著影响。因此，在着手建模之前，必须对原始数据进行详尽而全面的预处理。预处理的主要步骤涵盖数据清洗、去噪、插值以及格式化等多个方面。数据清洗旨在识别和移除那些显然错误或不合理的数据点，确保数据集的纯净性。去噪过程则运用先进的滤波算法，有效地剔除由测量设备或其他外部因素引入的噪声，从而提升数据的信噪比。此外，由于地质数据采集过程中可能会存在某些区域数据缺失的情况，因此需要通过插值算法来合理填补这些空白，以保证数据的完整性和连续性。最后，数据的格式化也是一个重要步骤，它将处理后的数据转换成建模软件能够识别的标准格式，为接下来的三维建模工作铺平道路。通过这些预处理措施，可以显著提高数据的质量和可用性，为后续的三维地质建模提供坚实可靠的数据基础。

2.2 地质工程复杂地质体三维建模技术

2.2.1 表面建模

表面建模是地质工程复杂地质体三维建模技术中的重要一环，其主要目的是通过构造光滑的地质体外表面，以精准地展现均质三维地质体的空间形态。为实现这一目标，通常会采用线框模型和边界表示模型等面模型技术。（1）线框模型：首先根据地质勘探和钻探等所获取的数据，精确地提取出地质体的边界线。这些边界线不仅描绘了地质体的轮廓，更揭示了其整体形态和主要构造特征。随后，利用这些关键的边界线，构建出地质体的线框模型。此模型能够简洁明了地勾勒出地质体的基本形态，为后续的详细建模提供了有力的框架^[2]。

（2）边界表示模型：在线框模型的基础上，进行了更为深入的细化和精确化。这种方法运用了边界表示法（B-Rep），通过详尽地定义地质体的边界、顶点、棱边等核心几何元素，构建出一个更为精细的模型。这种模型不仅连续、光滑，更能准确地反映地质体的每一个细节和实际形态。边界表示模型的优势在于其高精度和强大的表现力，使得地质体的复杂形态和细微特征得以完美呈现。值得注意的是，这两种建模方法并非孤立存在，而是相辅相成。线框模型为边界表示模型提供了基础框架，而边界表示模型则在线框模型的基础上进行了细化和完善。通过这种结合，可以确保所构建的三维地质模型既具有整体的准确性，又能捕捉到地质体的每一个细微之处。这对于后续的地质分析、工程设计和灾害预防等工作具有至关重要的意义。

2.2.2 体建模

体建模技术在地质工程复杂地质体三维建模中占据着举足轻重的地位。这种技术旨在更深入地揭示地质体的内部结构，从而能够更真实地反映层理、断裂、矿体等复杂构造。为实现这一目标，可以采用基于体素的建模和基于隐式函数的建模等方法。

（1）基于体素的建模方法：核心理念是将整个地质体细致地划分为一系列小的立方体单元，这些立方体被专业地称为“体素”。每一个体素都代表着地质体的一个微小部分。通过精确地为每个体素分配相应的物性参数，如密度、磁化率等，研究人员能够构建出一个详尽且精确的三维模型。这个模型不仅展现了地质体的整体形态，更深入地揭示了其内部的物性分布。这种方法特别适用于刻画内部结构错综复杂的地质体，例如矿体、油气藏等，为地质勘探和资源开发提供了有力的工具。

（2）基于隐式函数的建模方法：是一种更为数学化和精确的方式。它依赖于数学函数来细致描绘地质体的

形态。通过根据地质数据精确地拟合出一个或多个隐式函数，这些函数能够无比准确地表示地质体的外部表面和内部精细结构。与基于体素的建模方法相比，隐式函数建模在精度和灵活性方面展现出了更高的优势。它能够更为出色地处理和展现那些复杂多变的地质形态和独特的构造特征。

2.3 模型优化与验证

2.3.1 模型简化

模型简化是优化三维地质模型的关键步骤，其主要目的是降低模型的复杂度，进而提升计算效率。在保证精度的前提下，对模型进行必要的简化操作至关重要。这涉及到去除那些冗余的数据点，以减少数据的冗余性和计算负担。同时，合并相近的几何元素也是一个有效的简化手段，它可以减少模型中的元素数量，进一步优化模型结构。此外，对模型的拓扑结构进行优化也是模型简化的重要环节，它有助于提升模型的稳定性和计算性能。通过这些精细化的简化操作，不仅能够显著减小模型的文件大小，还能大幅度提高模型的处理速度，为后续的地质分析和工程设计提供更为高效、便捷的支持。

2.3.2 光滑处理

光滑处理是提升三维地质模型质量的关键环节。为了改善模型的表面质感，并使其更贴近真实地质体的自然形态，引入先进的光滑算法对模型进行精细化处理至关重要。这些算法能够智能识别并有效去除模型表面的锯齿状不平整结构，以及因数据采集或建模过程中产生的微小不平整区域。经过光滑处理，模型表面将呈现出更加流畅、自然的形态，这不仅显著提升了模型的视觉效果，使其更加逼真，还有助于科研人员更精确地分析地质体的形态和构造特征。因此，光滑处理在三维地质建模中扮演着举足轻重的角色，为地质研究和相关应用提供了更高质量的数据基础。

2.3.3 验证与对比

在三维地质建模过程中，验证与对比环节是确保模型准确性和可靠性的关键步骤。为了全面评估优化后的模型质量，需要将其与实际地质资料进行详尽的对比验证。这一过程中，可以综合运用地质图、钻探数据以及地球物理测量数据等多种权威资料，进行深入的比对和分析。通过严谨的验证工作，不仅可以确认模型与真实地质情况的高度吻合，还能进一步保证模型在后续地质工程设计和施工中的实用性^[3]。同时，根据对比验证所揭示的细微差异，对模型进行了精细的调整和完善，以确保其能够更加精准地满足地质研究和工程应用的实际需求。这一系列的验证与对比工作，为三维地质模型的最

终定型和后续应用奠定了坚实的基础。

3 地质工程复杂地质体三维模型的可视化技术

3.1 可视化技术的意义

可视化技术在地质工程中具有深远的意义。这项技术能够将大量复杂、抽象的地质信息数据转化为直观、易懂的图形化表达,从而极大地降低了理解的难度。通过可视化,工程师们能够更清晰地观察到地质体的空间分布、构造特征以及物性参数等关键信息,这无疑为他们提供了更为便捷、高效的分析工具。更为重要的是,可视化技术还有助于发现数据中的潜在规律和异常,为地质工程的决策提供了更为科学、准确的依据。因此,可以说可视化技术不仅是地质信息展现的一种手段,更是提升地质工程研究效率和质量的关键所在。通过这项技术,复杂的地质条件得以清晰展现,为工程师们的工作带来了极大的便利。

3.2 可视化方法的实现

3.2.1 高级渲染技术

高级渲染技术在地质工程复杂地质体三维模型的可视化中扮演着至关重要的角色。为了增强模型在视觉上的真实感和细节丰富度,光照模型和纹理映射等高级渲染技术被广泛应用。光照模型能够模拟真实世界中的光线与物体表面的交互,通过计算光线的反射、折射和阴影等效果,使模型呈现出更为逼真的光影效果。这不仅提升了模型的立体感,还使其更加贴近实际地质体的视觉表现。同时,纹理映射技术的运用进一步丰富了模型的细节。通过将真实的纹理图像映射到模型表面,可以模拟出地质体的各种自然纹理和细节特征,如岩石的层理、裂隙等^[4]。这种技术的运用,不仅增强了模型的真实感,还有助于更准确地表达地质体的形态和构造特征。

3.2.2 交互式操作

交互式操作在地质工程复杂地质体三维模型的可视化过程中起到了举足轻重的作用。通过引入一个直观且用户友好的交互式操作界面,用户能够轻松地通过鼠标、键盘等设备对三维模型进行灵活操控。这种交互方式赋予了用户极大的自由度,使他们能够根据自己的需求,随意地旋转、缩放或平移模型,以便从不同角度和细节层次上全面观察和分析地质体。具体而言,旋转功能允许用户360度无死角地查看地质体的各个侧面和细节,从而更全面地理解其空间形态和结构特征。缩放功能则使用户能够深入到模型的细微之处,或是从宏观角

度把握整体结构,满足了对不同尺度地质特征的研究需求。而平移操作则便于用户在三维空间中自由穿梭,观察模型的不同部分,进而形成对地质体的完整认知。这些交互式操作的引入,不仅提高了用户对三维模型的控制力和操作效率,还极大地丰富了用户的使用体验。科研人员、工程师等专业人士可以借此进行更深入的地质分析,教育者和学生也可以利用这些功能进行更直观的地质教学和学习。

3.2.3 动态切片技术

动态切片技术是地质工程复杂地质体三维模型可视化的一项重要功能。通过这一技术,用户可以实时地调整切片的深度和位置,以便直观地查看和分析地质体内部的详细结构。这一功能的实现,不仅依赖于高精度的三维建模技术,更需要强大的计算机图形处理能力和用户交互设计的支持。在实际应用中,动态切片技术能够清晰地展示出地质体内部的层理结构、矿体分布以及其他关键的地质信息。这对于地质工程师和科研人员来说,具有极高的实用价值。他们可以通过动态切片,快速地识别出不同地层的界限、矿体的形态和分布规律,以及可能存在的地质构造特征。这些信息对于理解地质体的形成历史、预测矿产资源的分布以及评估地质工程的安全性等方面都具有重要意义。

结语

本文通过对复杂地质体三维建模与可视化技术的深入研究,形成了一套完整、高效的技术流程。这套技术不仅为地质工程的设计、施工提供了直观、精确的参考依据,还为地质学的研究和教育提供了新的视角和工具。展望未来,随着计算机图形学、人工智能等技术的不断进步,我们有理由相信,复杂地质体的三维建模与可视化技术将迎来更加广阔的发展空间和应用前景。

参考文献

- [1]杨林章.矿山地质工程的三维可视化开采技术研究[J].世界有色金属,2020,(01):60+62.
- [2]聂鑫,曾强红.地质工程复杂地质体可视化技术[J].世界有色金属,2017,(18):191+193.
- [3]韩延庆,熊茜雯.地质工程复杂地质体可视化技术研究[J].世界有色金属,2018,(04):271-272.
- [4]王慧敏,肖映城,苏强.信息背景下地质工程复杂地质体三维建模与可视化研究[J].建材与装饰,2016,(32):200-201.