

隐伏矿体三维地质建模与可视化表达技术探讨

孙中博

浙江省矿产资源集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文聚焦于隐伏矿体三维地质建模与可视化表达技术，阐述了其研究背景与意义，分析了隐伏矿体勘查面临的挑战以及传统方法的局限性。详细介绍了三维地质建模的关键技术，包括数据获取与处理、建模方法、模型优化与验证等，同时探讨了可视化表达技术，如可视化技术类型、交互式可视化设计等。通过实际案例分析展示了技术的应用效果，并对未来发展趋势进行了展望，旨在为隐伏矿体勘查提供更有效的技术支持，推动矿业行业的可持续发展。

关键词：隐伏矿体；三维地质建模；可视化表达；勘查技术

1 引言

矿产资源是社会发展的重要物质基础，在多领域作用不可替代。全球经济发展与工业化推进，使浅部易采矿产渐枯竭，隐伏矿体勘查开发成保障供应关键。隐伏矿体被沉积物等覆盖或深埋地下，无明显地表露头，隐蔽性强，传统二维勘查方法难准确揭示其空间形态等，导致勘查效率低、成本高、风险大。三维地质建模与可视化表达技术带来新机遇，它能整合多源数据构建三维模型，直观展示矿体空间特征，为勘查决策提供依据，提高成功率和经济效益。

2 隐伏矿体勘查面临的挑战与传统方法的局限性

2.1 隐伏矿体勘查面临的挑战

一是地质条件复杂：隐伏矿体通常赋存于复杂的地质环境中，受到多种地质作用的影响，如岩浆活动、构造运动、变质作用等。这些地质作用使得矿体的空间形态、规模和分布规律变得十分复杂，增加了勘查的难度。二是数据获取困难：由于隐伏矿体被覆盖层遮挡，无法直接观察和取样，只能通过地球物理勘探、地球化学勘探、钻探等间接方法获取地质信息。这些方法存在一定的局限性，如地球物理勘探的多解性、地球化学勘探的异常扩散等，导致获取的数据准确性和可靠性受到影响。三是勘查成本高昂：隐伏矿体勘查需要投入大量的人力、物力和财力，进行大规模的地球物理勘探、钻探等工作。而且，由于勘查的不确定性较大，成功率较低，进一步增加了勘查成本和风险。

2.2 传统方法的局限性

二维地质图表示局限：传统的地质勘查方法主要基于二维地质图来表示地下地质情况，如平面图、剖面图等。二维地质图只能反映地质体在某一方向上的投影信息，无法直观展示地质体的三维空间形态和相互关系，

容易导致对地质情况的理解偏差。

数据综合分析能力弱：传统方法在处理多源地质数据时，往往采用分开处理和分析的方式，难以实现数据的有机融合和综合分析^[1]。这使得不同数据之间的一致性和关联性无法得到充分利用，影响了勘查结果的准确性和可靠性。

缺乏直观的可视化展示：传统方法的结果表达主要以文字报告和图表为主，缺乏直观的可视化展示手段。对于非专业人员来说，难以理解复杂的地质信息，不利于勘查决策的制定和沟通。

3 三维地质建模关键技术

3.1 数据获取与处理

数据类型：三维地质建模需要多种类型的地质数据，包括地质勘探数据（如钻探数据、坑探数据、槽探数据等）、地球物理勘探数据（如重力、磁法、电法、地震等数据）、地球化学勘探数据、遥感数据等。这些数据从不同角度反映了地下地质情况，为三维地质建模提供了丰富的信息源。

数据获取方法：不同的数据类型需要采用不同的获取方法。例如，钻探是获取地下岩芯样本和地质信息的重要手段，通过钻探可以了解地下岩层的岩性、厚度、产状等；地球物理勘探方法则利用物质的物理性质差异来探测地下地质体的存在和分布；遥感技术可以通过卫星或飞机获取地表的地质信息，为区域地质研究提供宏观数据支持。

数据处理与整合：获取的原始地质数据往往存在噪声、误差和不一致性问题，需要进行预处理和整合^[2]。数据处理包括数据滤波、去噪、插值等操作，以提高数据的质量和准确性。数据整合则是将不同来源、不同类型的数据进行统一坐标转换和格式转换，使其能够在同

一建模平台上进行集成和分析。

3.2 建模方法

基于钻孔数据的建模方法：钻孔数据是三维地质建模的重要基础数据之一。基于钻孔数据的建模方法主要包括趋势面分析、距离加权插值、克里金插值等。这些方法通过分析钻孔数据的空间分布特征，利用数学插值算法来推断未采样点的地质属性值，从而构建三维地质模型。

基于地质界面的建模方法：地质界面是划分不同地质体的边界，基于地质界面的建模方法通过确定地质界面的空间形态和位置来构建三维地质模型。常用的方法有三角网建模、网格建模等。三角网建模是将地质界面上的点连接成三角形网格，通过调整三角形的形状和位置来拟合地质界面的形态；网格建模则是将地质空间划分为规则或不规则的网格单元，根据每个网格单元内的地质属性值来构建模型。

基于断层模型的建模方法：断层是地质构造中的重要组成部分，对矿体的空间分布和形态具有重要影响。基于断层模型的建模方法需要考虑断层的产状、位移等特征，将断层作为特殊的地质体进行建模。通常采用断层面建模和断层块体建模两种方法，断层面建模是构建断层的三维表面模型，断层块体建模则是根据断层的位移特征将地质体分割成不同的块体并进行建模。

3.3 模型优化与验证

模型优化：构建的初始三维地质模型可能存在一些不合理的地方，如模型表面不平滑、地质体之间的边界不清晰等。为了提高模型的质量和准确性，需要对模型进行优化。模型优化的方法包括平滑处理、拓扑检查与修复、属性调整等。平滑处理可以消除模型表面的噪声和毛刺，使模型更加光滑；拓扑检查与修复可以确保模型中地质体之间的拓扑关系正确；属性调整可以根据实际地质情况对模型中的地质属性值进行修正。

模型验证：模型验证是评估三维地质模型可靠性和准确性的重要环节。常用的模型验证方法包括与已知地质资料对比、与实际勘查结果验证、交叉验证等。与已知地质资料对比是将模型中的地质信息与已有的地质图、地质报告等进行对比，检查模型的一致性；与实际勘查结果验证是通过后续的钻探、坑探等勘查工作获取的实际地质数据来验证模型的准确性；交叉验证则是将数据集分成多个子集，利用部分子集进行建模，然后用剩余子集进行验证，重复多次以评估模型的泛化能力。

4 可视化表达技术

4.1 可视化技术类型

体绘制技术：体绘制技术是一种直接对三维数据场进行可视化的方法，它不需要构建中间几何图元，而是通过计算每个体素对光线吸收和发射的贡献，将三维数据场投影到二维平面上，从而生成具有透明感和层次感的图像^[3]。体绘制技术能够真实地展示地质体的内部结构和属性分布，但计算量较大，对计算机性能要求较高。

面绘制技术：面绘制技术是先从三维数据场中提取等值面或地质界面，然后利用图形学算法将这些面进行渲染和显示。面绘制技术计算量相对较小，显示速度快，能够清晰地展示地质体的表面形态和边界，但对于地质体内部结构的展示能力较弱。

混合绘制技术：混合绘制技术结合了体绘制和面绘制的优点，将两种技术有机结合在一起。例如，对于地质体的表面部分采用面绘制技术进行快速显示，而对于地质体的内部结构则采用体绘制技术进行详细展示，从而在保证显示效果的同时提高绘制效率。

4.2 交互式可视化设计

交互功能实现：交互式可视化允许用户与三维地质模型进行实时交互，通过鼠标、键盘等输入设备对模型进行旋转、缩放、平移等操作，以便从不同角度观察模型。同时，用户还可以通过交互界面查询模型中任意位置的地质属性信息，如岩性、品位等。交互功能的实现需要借助图形用户界面（GUI）技术和事件处理机制，将用户的操作指令传递给可视化系统，并实时更新显示结果。

可视化场景定制：为了满足用户的需求，可视化系统应提供可视化场景定制功能。用户可以根据自己的兴趣和需求，选择显示或隐藏特定的地质体、地质界面或属性信息，调整模型的颜色、透明度等显示参数，创建个性化的可视化场景^[4]。可视化场景定制功能可以提高用户对地质模型的理解和分析能力，为勘查决策提供更有针对性的支持。

5 实际案例分析

5.1 案例背景

某地区处于重要成矿带，前期地质调查发现隐伏铜矿迹象。为准确查明铜矿赋存状态、规模和品位分布，为矿山开发提供科学依据，采用三维地质建模与可视化表达技术进行详细勘查。

5.2 数据获取与处理

数据获取：完成120个钻孔，累计进尺32000米，获取岩芯样本和钻孔数据；开展1:1万地质测量，面积50平方千米，获取地质路线、地质点等数据；进行高精度磁法测量，面积60平方千米，获取磁场强度数据；开展激电中梯测量，面积55平方千米，获取视电阻率和极化

率数据。

数据处理：对钻孔数据进行整理、编辑和校正，建立钻孔数据库；对地质测量数据进行数字化处理，生成地质图件；对磁法和激电数据进行滤波、延拓等处理，提取异常信息，为后续建模提供准确数据基础。

5.3 三维地质建模过程

地质界面建模：根据钻孔数据和地质测量数据，利用趋势面分析方法构建地层界面模型；采用断层建模技术构建断层面模型，准确反映断层产状和位移。通过多源数据融合，不断修正和完善地质界面模型，确保其准确性和可靠性。

矿体建模：结合地质勘探数据和地球物理异常信息，利用协同克里金法和支持向量机模型预测铜矿体空间分布。通过设置合理的品位阈值，圈定铜矿体边界，构建三维矿体模型。在建模过程中，充分考虑矿体与周围地质体的关系，确保模型符合地质规律。

5.4 可视化表达与结果分析

可视化表达：采用混合绘制技术对三维地质模型进行可视化。面绘制展示地层界面和断层面，体绘制展示铜矿体内部品位分布。通过调整颜色映射和透明度，使矿体和地层形态清晰可见，品位分布一目了然。交互式可视化设计允许用户旋转、缩放模型，查询矿体属性信息，方便进行深入分析。

结果分析：可视化结果显示，铜矿体呈不规则状，沿断裂带分布。矿体品位在中部较高，向四周逐渐降低。通过与实际地质情况对比验证，模型预测的矿体位置、规模和品位分布与实际情况基本吻合，验证了三维地质建模与可视化表达技术的有效性和可靠性。该成果为矿山开发规划提供了重要依据，有助于提高资源利用率和经济效益。

6 未来发展趋势与展望

6.1 技术融合与创新

未来，三维地质建模与可视化表达技术将与其他相关技术进一步融合，如人工智能、大数据、虚拟现实等。人工智能技术可以用于地质数据的智能分析和处理，提高建模的自动化程度和准确性；大数据技术可以整合海量的地质数据，为建模提供更丰富的信息支持；

虚拟现实技术可以创建沉浸式的可视化环境，使用户能够身临其境地感受地下地质情况，增强交互体验和决策能力。

6.2 多尺度建模与动态更新

随着勘查工作的不断深入，需要建立不同尺度的三维地质模型，以满足不同阶段的勘查需求。从区域尺度到矿床尺度，再到矿体尺度，实现多尺度模型的无缝衔接和动态更新。同时，根据新的勘查数据和研究成果，及时对模型进行修正和完善，保持模型的时效性和准确性。

6.3 标准化与共享化

为了促进三维地质建模与可视化表达技术的广泛应用和交流，需要建立统一的技术标准和规范，包括数据格式、建模方法、可视化表达等方面。同时，构建地质模型共享平台，实现地质模型的有效共享和复用，提高资源的利用效率，推动整个行业的发展。

结语

三维地质建模与可视化表达技术为隐伏矿体勘查提供了一种强大的工具和方法，能够有效克服传统方法的局限性，提高勘查的准确性、效率和经济效益。通过数据获取与处理、建模方法选择、模型优化与验证等关键技术环节，可以构建真实反映地下地质情况的三维模型，并通过可视化技术直观展示矿体的空间特征。实际案例分析表明，该技术在隐伏矿体勘查中具有显著的应用效果。未来，随着技术的不断创新和发展，三维地质建模与可视化表达技术将在矿业领域发挥更加重要的作用，为保障矿产资源供应和推动矿业行业的可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]苏哲.顾及成矿空间复原的隐伏矿体三维预测[D].中南大学,2023.
- [2]马群.生产矿山隐伏矿体预测的技术与方法研究[J].西部资源,2022,(01):137-139.
- [3]杨振华.隐伏矿体三维综合信息成矿预测方法及应用[J].世界有色金属,2022,(15):97-99.
- [4]谢绍锋.胶西北矿集区成矿数值模拟与隐伏矿体三维预测研究[D].中南大学,2022.