 DOI: https://doi.org/10.12345/smg.v7i4.30374

Construction Method of Coal Mine Geological Model for Planned Cutting

Yujia Huo[1,2]

1. Xi'an Meike Transparent Geology Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 712000, China;
2. China Coal Technology and Engineering Group Xi'an Research Institute, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

To ensure the high-quality development of the coal industry, China has implemented a significant strategic initiative to vigorously promote intelligent coal mining. Intelligent coal mining plays a pivotal role in advancing the upgrading of the coal industry. Among these efforts, planned coal cutting, as a crucial component of unmanned and minimally manned policies in underground coal mines, is severely constrained by the accuracy of geological data. Therefore, this paper addresses the issue of low model accuracy in fully mechanized coal mining faces, which fails to meet the requirements for planned cutting operations. By integrating multimodal geological data such as drilling and geophysical exploration, combined with modeling algorithms and a dynamic updating mechanism based on real-time shearer data, a geological modeling method tailored for planned cutting is proposed. This method provides decision support for intelligent coal mining, covering the entire process from face design to closed-loop extraction.

Keywords

geological modeling; intelligent coal mining; planned cutting

面向规划截割的煤矿地质模型构建方法

霍雨佳 [1,2]

1. 西安煤科透明地质科技有限公司，中国 · 陕西 西安 712000
2. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司，中国 · 陕西 西安 710000

摘　要

为保障煤炭工业高质量发展，国内作出了大力推进煤矿智能化开采的重要战略部署，煤炭的智能开采对促进煤炭产业升级起到了关键作用。其中采煤机规划截割作为煤矿井下无人化、少人化政策的重要组成部分，发展严重受限于地质数据精度。因此，本文针对煤矿综采工作面模型精度低，不满足规划截割开采条件的问题，提出通过融合钻探、物探等多模态地质数据，并结合建模算法与基于采煤机实时数据动态更新机制，建立一种面向规划截割的煤矿地质模型构建方法，为智能采煤提供从工作面设计到回采闭环的决策支持。

关键词

地质建模；煤矿智能开采；规划截割

1 引言

在煤炭工业智能化升级进程中，透明矿山与少人化开采目标的实现高度依赖智能化开采技术 [1]，目前，智能开采技术主要依赖于采煤机的记忆截割、工作面自动找直以及远程视频监控等手段，这些技术在地质条件相对简单的回采工作面得到了初步应用。国内外学者在机理研究层面已形成系统性突破，王国法等 [2] 提出通过巡检设备与三机数据对采煤机记忆截割模板进行修正，实时调整设备状态，以逐步实现智能开采。程建远等 [3] 根据不同勘查阶段的地质数据，提出将回采工作面地质模型分为黑、灰、白、透明模型四级，逐步提升模型的精度。刘再斌等 [4] 提出了透明回采工作面多属性动态建模方法，采前、采中产生的数据为基础，与开采系统循环互馈，为开采提供地质导航。综上所述，如何推动从记忆截割到自主规划截割，是当下亟待解决的问题。其中构建高精度的综采地质模型是实现规划截割的先决条件，是推动回采工作面地质信息的透明化，是推进煤矿智能化发展的关键环节之一。因此本文提出一种通过融合钻探、物探等多模态地质数据，并结合建模算法与基于采煤机实时数据动态更新机制的一种面向规划截割的地质模型构建方法。其核心方法围绕地球物理探测、地质数据采集与计算地质学的交叉融合展开，通过集成高密度三维地震反演、地质素描、钻孔测孔，采煤机传感器等异构数据源，基于坐标配准与插值算法构建多尺度动态工作面地质数字模型，支撑采掘设备的自主决策，实现基于模型驱动的规划结合路径规划策略，

【作者简介】霍雨佳（1997–），男，中国黑龙江大庆人，硕士，研究实习员，从事透明地质、智能开采研究。

为智能采煤提供从工作面设计到回采闭环的决策支持。

2 面向规划截割的地质模型构建方法

2.1 数据分析与坐标配准

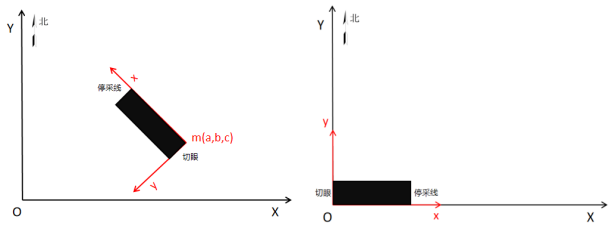
地质数据作为地质建模的基础，煤矿在设计到生产的流程中会通过各类型的地质勘探手段产生大量地质数据，且数据特点各不相同。下表 1 基于数据来源对各类数据的特征进行分析。

表 1 建模数据特征

数据来源		数据特点
钻探	地面钻孔	精度高、密度低
	井下钻孔	精度高、密度高
物探	三维地震	精度低、密度高
生产测量	回采揭露	精度高、需要人工干预
	掘进素描	精度高、只能控制工作面两顺槽

基于上表 1 各地质数据特性确定建模数据规则。其中，精度高的四项数据作为插值时的强约束点，三维地震得到的煤层顶底板数据用于模型构建完毕后的核对项进行处理。且回采揭露数据可通过对工作面的推进度、采煤机相对机头位置以及采煤机机身双轴传感器数据实时生成当前切眼位置的顶底板高程数据，增加下一次的插值数据源，实现地质模型的动态更新。

由于采煤机执行规划截割时所需数据为采高及卧底数据，并非地质建模常用的高程数据，所以需要考虑建模数据源的坐标平移旋转问题。通过坐标系平移可达成基准点归零，旋转则是为了消除轴向差异实现方向统一。首先，定义回采工作面推进方向为开采坐标系的 x 轴方向，机头指向向机尾方向定义为开采坐标系 y 轴方向，机头所在顺槽与切眼的交点为坐标零点 m，得到开采坐标系 xmy，坐标原点大地坐标下的坐标设为 (a,b,c)，开采坐标系在平面上的旋转角为 α°，则坐标变换过程如下图 1 所示。



（a）原始坐标系分布　　（b）坐标系配准结果

图 1 坐标配准过程示意图

则坐标变换公式如下式（1）所示

$$x_1 = (x - a)\cos\alpha + (y - b)\sin\alpha$$
$$y_1 = (x - a)\sin\alpha + (y - b)\cos\alpha \qquad (1)$$
$$z_1 = z - c$$

式中 (x,y,z) 为大地坐标系下的地质数据坐标，(x_1,y_1,z_1) 为开采坐标系下的地质数据坐标，则将地面钻孔、井下钻孔、生产测量数据进行坐标配准后作为地质模型构建的数据基础。

2.2 地质模型构建

工作面巷道及地面钻孔采样点处，同时包含煤层顶、底板标高信息，而探煤钻孔测井在平面一点处仅能得到煤层底板或顶板标高。由于样本点较少，若同时对煤层顶、底板插值，顶、底板模型在局部位置可能产生交叉。为此，先对煤层底板和煤厚进行同网格插值，然后通过叠加底板网格和煤厚网格，得到顶板网格。同时为了充分利用钻探、写实、物探数据构建高精度的工作面三维模型，结合前述介绍总结建模流程如下：

首先，依据地面钻孔、巷道写实数据构建初始煤层底板模型 B1；提取地面钻孔、巷道写实数据中煤层厚度数据，采用克里金法插值构建初始煤层底板模型 B1 上的厚度模型；基于初始煤层底板模型 B1 叠加厚度模型得到初始顶板模型 T1；次之，依据井下钻孔探煤孔轨迹测量数据构建探煤孔三维模型，依据探煤孔三维模型与初始煤层底板模型 B1、初始顶板模型 T1 的空间关系，将探煤孔分为探顶煤钻孔组 ZTG1 和探底煤钻孔组 ZBG1；分别计算探顶煤钻孔组 ZTG1、探底煤钻孔组 ZBG1 中每个钻孔中煤岩分界点距离初始顶板模型 T1、初始煤层底板模型 B1 的竖向距离；依据地面钻孔、巷道写实数据、探底煤钻孔重新构建煤层底板 B2；随后，提取地面钻孔、巷道写实数据中煤层厚度数据，采用克里金法插值构建初始煤层底板模型 B2 上的厚度模型；重构煤层底板模型 B2 叠加厚度模型得到重构顶板模型 T2；使用地面钻孔、巷道写实数据、探顶煤探煤孔使用离散光滑插值修正重构顶板模型 T2，获得最终煤层顶板 T3；最后，提取重构煤层底板模型 B2、最终煤层顶板 T3 边界生成模型侧围面 S1，三者合并得到开采工作面三维模型，完成面向规划截割的三维地质模型构建。

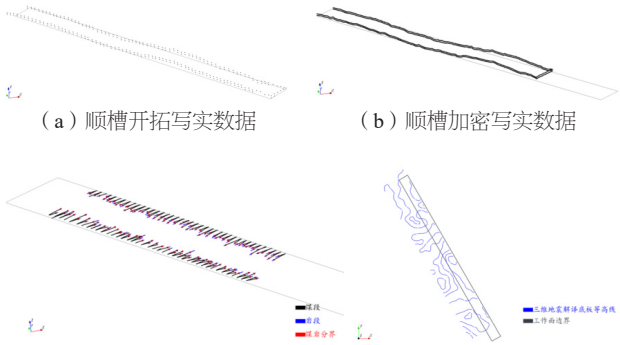
3 工程实践

3.1 地质概况

本次实验矿井隶属东胜煤田，位于鄂尔多斯市区范围。主采煤层为侏罗系中下统延安组上部煤层，属全区可采稳定煤层，根据工作面巷道掘进及回采揭露最小厚度为 4.75 米，最大厚度为 6.65 米，根据相邻工作面回采揭露情况显示，该工作面煤层厚度由南东向北西有逐渐变薄的趋势。煤层走向 165°，倾向 255°，倾角为 1~3°，面长 5.5km，面宽 285m，采用长壁后退式一次采全高综合机械化回采工艺。

3.2 模型构建

该工作面自形成至开采所涵盖数据为顺槽开拓写实数据、顺槽加密写实数据、顶底板探煤孔数据、地表勘探孔数据、采区三维地震数据。将上述数据分别导入后数据分布情况如下图 2 所示。



（a）顺槽开拓写实数据　（b）顺槽加密写实数据

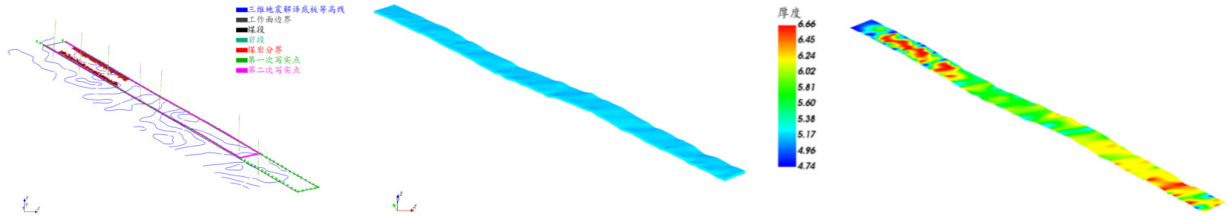
（c）顶底板探煤孔数据　（d）采区三维地震数据

图 2 地质数据分布图

将上述钻孔、物探、写实数据、三维地震数据在三维建模软件中汇总后如图 3（a）所示，针对数据集合采用前述建模方法和步骤构建的三维模型如图 3（b）所示，对该模型进行厚度分析获得厚度分布云图，如图 3（c）所示。

3.3 误差分析

将该工作面建模中未使用的已开采位置 2 刀共 300 个切眼厚度素描数据与同位置的工作面三维地质模型剖面进行比对分析，得出模型与实际场景中的煤层厚度分布误差分布统计直方图与误差分布范围统计直方图，如下图 4 所示。由图可知，通过本文方法构建的工作面地质模型与开采实际数据间的误差值不高于 20cm，平均误差约为 9.8cm。



（a）建模数据集合　（b）三维地质模型　（c）模型厚度分布云图

图 3 三维地质模型成果图

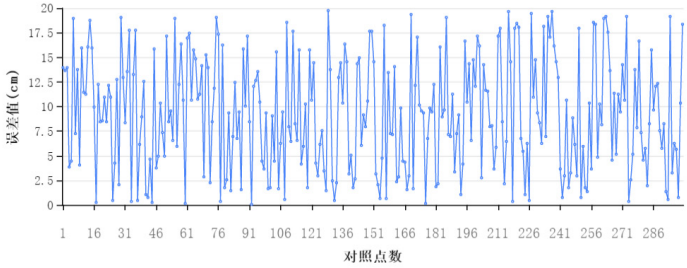


图 4 模型误差分析结果图

4 结论

①针对煤矿综采工作面模型精度低，不满足规划截割开采条件的问题，提出通过融合钻探、物探等多模态地质数据，并结合建模算法与基于采煤机实时数据动态更新机制，建立了一种面向规划截割的煤矿地质模型构建方法。

②于东胜煤田某工作面进行了工程实践，通过实测剖面数据对比，通过本文方法构建的工作面地质模型与实际切眼厚度素描数据间的误差值不高于 20cm，平均误差约为 9.8cm，验证了本文方法的可行性，满足智能开采规划截割的要求。

③地质模型构建作为智能开采的重要组成部分，其精度受限于地质探查手段的精度及数据密度影响，未来应大力发展高精度地质探测手段。同时，应针对如基于图像或雷达等传感器的煤岩识别技术开展研究，以实时修正切眼顶底板数据，进一步提高模型精度，为少人化、无人化开采提供进一步支撑。

参考文献

[1] 王国法,任怀伟,赵国瑞,等.煤矿智能化十大“痛点”解析及对策[J].工矿自动化,2021,47(6):1-11.

[2] 王国法,刘峰,孟祥军,等.煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J].煤炭科学技术,2019,47(8):1-36.

[3] 程建远,刘文明,朱梦博,等. 智能开采透明工作面地质模型梯级优化试验研究[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):118-126.

[4] 刘再斌,刘程,刘文明,等. 透明工作面多属性动态建模技术[J]. 煤炭学报,2020,45(7):2628-2635.