

# 基于EVS的耦合地形 - 优化钻孔数据的建模方法

阳建涛<sup>1\*</sup>, 蔺书钿<sup>2</sup>, 向敏<sup>1</sup>

<sup>1</sup>重庆科技大学建筑工程学院, 重庆

<sup>2</sup>重庆交通大学工程设计研究院有限公司, 重庆

收稿日期: 2024年5月28日; 录用日期: 2024年6月24日; 发布日期: 2024年7月31日

## 摘要

为了解决地质建模软件Earth Volumetric Studio (EVS)建立的地质模型与实际地形地貌、地层倾向不符的问题,以贵州金象煤矿为研究对象,提出一种能真实反映地形地貌与地层倾向的建模方法(EVS耦合地形-优化钻孔数据的建模方法)。通过工程实例将该方法与地层建模进行对比分析,结果表明采用耦合地形-优化钻孔数据的建模方法建立的模型比地层建模方法建立的模型更能反映实际的地质情况,与勘探方法探测的地质情况也更相近,且模型误差更小。

## 关键词

EVS建模, 优化钻孔数据建模, 耦合地形建模, 地层建模

# EVS-Based Modeling Method for Coupled Terrain-Optimized Borehole Data

Jiantao Yang<sup>1\*</sup>, Shutian Lin<sup>2</sup>, Min Xiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Architecture and Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

<sup>2</sup>Chongqing Jiaotong University Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Chongqing

Received: May 28<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jun. 24<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

In order to solve the problem that the geological model established by the geological modeling software Earth Volumetric Studio (EVS) is not consistent with the actual topography and stratigraphic tendency, a modeling method that can truly reflect the topography and stratigraphic ten-

\*第一作者。

gency (EVS coupled topography-optimized drilling data modeling method) was put forward with the Jinxiang Mine of Guizhou Province as the object of study. Comparison and analysis of this method with stratigraphic modeling and coupled terrain modeling method are carried out through engineering examples, and the results show that the model established by coupled terrain-optimized drilling data modeling method can better reflect the actual geological conditions than the models established by the above two methods, and the geological conditions detected by the exploration methods are also more similar, and the model error is smaller.

## Keywords

EVS Modeling, Optimizing Drill Hole Data Modeling, Modeling of Coupled Terrain, Stratigraphic Modeling

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来为实现三维地质分析与可视化预测等, 三维地质建模技术兴起并得到发展[1]-[3]。目前基于钻孔数据生成实体三维模型的算法不断被提出, 如 Kriging 插值算法[4]、Shepard 插值算法、最近邻点(Nearest Neighbor)插值算法[5]、Fastrbf 插值算法等, 根据不同的地质分布特征可选取不同的插值算法。

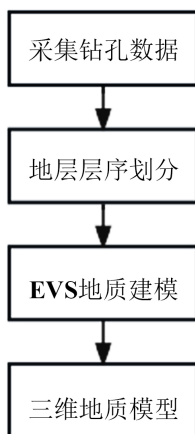
目前国内学者针对三维地质建模已经做了许多研究, 盛世强[6]等使用 GOCAD 建立三维地质模型, 通过对模型特征的详细分析, 识别出了构造带及其周缘地区褶皱变形样式, 以及潜山内幕断层的交切关系。雷赟[7]等利用 EVS 建立的地质模型为解决污染物的控制以及合理有效开采地下水提供了模型支持。陈兵[8]等介绍了 EVS 的三种建模方法, 及各种方法适用的地质条件。周念清[9]等提出了一种能同时表达复杂透镜体和清晰地质层面的 EVS 地层 - 岩性建模方法, 能够对比较复杂的地形进行层序划分。孟美杉[10]等利用 EVS 建立出能准确刻画地下水污染状况的概念模型。

通过对上述学者的研究成果分析发现, 目前的 EVS 地质建模是根据钻孔数据插值模拟出的地貌情况, 不能真实地反映实际地貌与地层倾向, 因此在复杂地貌情况下采用传统 EVS 建模法建立的模型无法满足实际需求。本文借鉴前人已有的研究成果, 采用 EVS 软件地质建模与无人机正直摄影测量相结合的方式, 提出一种 EVS 耦合地形 - 优化钻孔数据的建模方法, 对贵州金象煤矿采煤区的地质情况进行三维地质建模, 并采用该模型对采煤区的地层分布情况进行分析和统计采煤区的煤层储量情况。

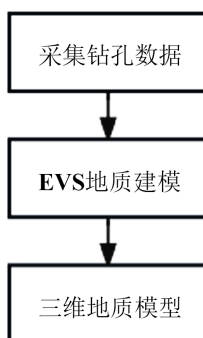
## 2. EVS 传统建模方法

EVS 是一款模块化的软件, 每个模块都有独立的功能, 可与不同的模块组合实现不同的功能, 具有很强的灵活性, 以此满足工程中的各种需求, 如矿业开采、基坑开挖、隧道开挖等工程问题中。它还将三维可视化、地质统计分析等功能集合到一起, 能满足多种分析物数据分析, 土壤、地下水、污染物和矿体体积和质量计算。

EVS 具有两种传统的建模方式, 分别为地层建模和岩性建模。这两种建模方式适用的地质情况不同, 地层建模适用于地层分布连续, 层序划分清晰的地质情况; 岩性建模适用于同种岩性反复出现无法划分层序的地质情况。因此在建模前需要对钻孔数据的特性进行分析, 选择合适的建模方法。地层建模如图 1 所示和岩性建模如图 2 所示流程如图。



**Figure 1.** Stratigraphic modeling flow chart  
**图 1.** 地层建模流程



**Figure 2.** Lithology Modeling flow chart  
**图 2.** 岩性建模流程

### 3. 耦合地形 - 优化钻孔数据建模方法

耦合地形 - 优化钻孔数据的建模流程如图 3 所示。单独采用地层建模或者岩性建模无法反映出实际的地貌情况，为了取得更真实且能够满足实际需要的模型，可考虑在地层建模的基础上导入无人机正摄影测量[11] [12]的地貌数据，得到能真实反映地貌与地层倾向的模型。为此，提出了以下具体思路。

- 1) 根据无人机正摄影的照片生成带坐标、高程的数字高程模型(DEM) [13] [14]。
- 2) DEM 文件转换为 EVS 软件能识别的 gmf 格式文件。
- 3) gmf 格式文件导入优化钻孔数据的建模方法建立的模型中，生成能够满足实际需要的模型。

#### 3.1. 优化钻孔数据的 EVS 地质建模方法

地层形成后往往会受到外力作用的影响，地形地貌会发生较大的改变。特别是在风化与流水作用下导致地层不断被侵蚀，形成低洼和高地地区，地层将出现断层如图 4 所示，地层在断层处会出现露头。采用传统地层建模在进行层序划分时无法划出地层的露头点，建立的模型在露头处会出现地层向下歼灭的情况，为了防止三维模型中出现地层向下歼灭，需用直线内插法在钻孔数据中补充出低洼地区被侵蚀的地层。如图 4 所示根据 A、C 钻孔中 2 号地层标高，利用直线内插法计算出 B 钻孔中未被侵蚀前 2 号地层的标高，以此补充出未被侵蚀前 B 号钻孔中的完整地层信息。

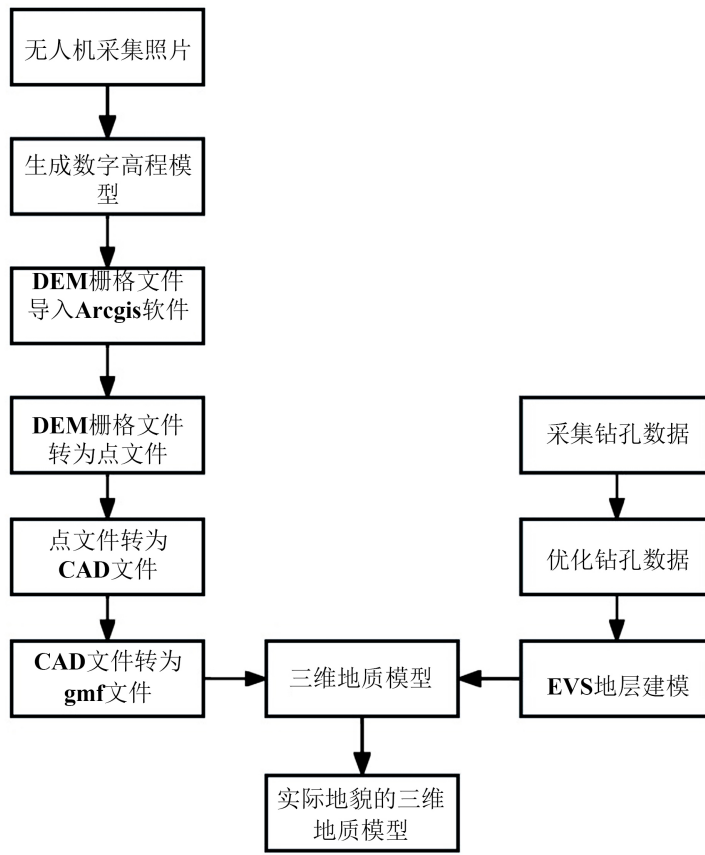


Figure 3. Coupled terrain-optimized borehole data modeling flow  
图3. 耦合地形 - 优化钻孔数据建模流程

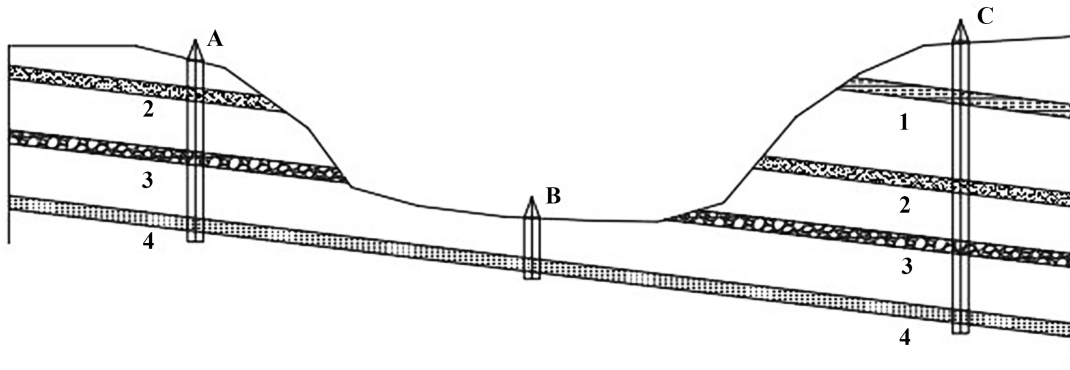


Figure 4. Map of eroded landform  
图4. 侵蚀地貌图

“直线内插法”又称“数学内插法”，其原理如下：以2号地层为例，2号地层在C钻孔中坐标为  $C_2(x_1, y_1)$ ；在A钻孔中坐标为  $A_2(x_2, y_2)$ ；2号地层未被侵蚀前在B钻孔中坐标为  $B_2(x, y)$ ， $B_2$ 在  $A_2$ 、 $C_2$ 点确定的直线上。 $A_2$ 、 $B_2$ 、 $C_2$ 三点共线，则  $(y - y_1)/(x - x_1) = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) =$  直线斜率，变换即得所求地层标高公式：

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (1)$$

### 3.2. 耦合地形建模方法

优化钻孔数据的建模法建立的地质模型仍无法反映实际地貌情况，还需将无人机正直摄影测量的地貌数据耦合到三维地质模型中得到能真实反映地貌与地层倾向的模型。

#### 3.2.1. 无人机正直摄影测量

随着无人机技术的快速发展，无人机低空摄影测量由于精度高、效率高、成本低廉的特点在勘察工程中得到了广泛应用。无人机正直摄影测量是一种通过真实的图像，丰富的色彩客观地反映真实的地貌状况，具有广阔应用前景的新型数字测绘技术。

#### 3.2.2. 地貌数据处理

1) 通过无人机正直摄影测量进行数据重建，生成数字高程模型，数字高程模型中包含有坐标、高程信息的 DEM 栅格文件。

2) DEM 栅格文件导入 Arcgis 软件如图 5 所示，在 Arcgis 软件中可以将 DEM 栅格转为点，每个点都有地貌的坐标和高程信息，再将点文件导出为 CAD 文件格式如图 6 所示。

3) 采用 CAD 工具栏中数据提取工具提取 CAD 点文件的 X、Y、Z 信息如图 7 所示，提取结果保存为 txt 文本格式如图 8 所示。

4) 将 txt 文件后缀名改为 gmf 后缀名，并重新定义文件属性如图 9 所示，定义为 units m (单位：米)、surface (面)，使 EVS 软件能识别。

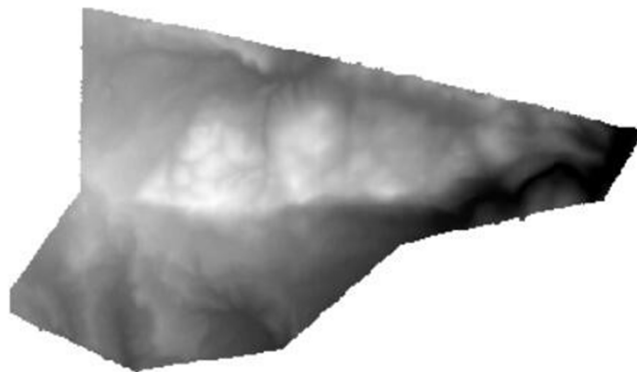


Figure 5. DEM raster image  
图 5. DEM 栅格图

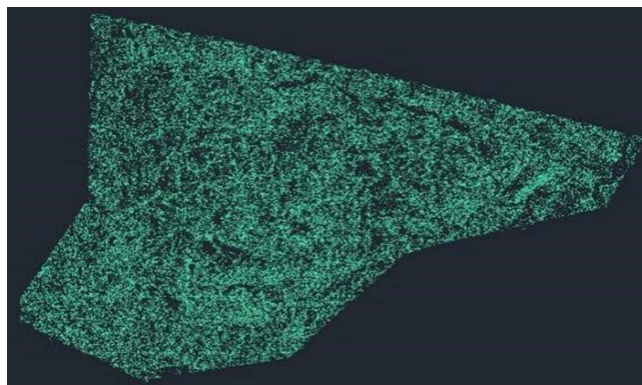


Figure 6. CAD point file diagram  
图 6. CAD 点文件图



**Figure 7.** Data Extraction Steps  
**图 7.** 数据提取步骤

位置 X	位置 Y	位置 Z
572528.0298	2967316.0710	1275.0000
572548.1519	2967316.0710	1277.0000
573010.5721	2967316.0710	1225.0000
572750.5333	2967316.0710	1282.0000
572459.5375	2967316.0710	1286.0000
572439.4154	2967101.6938	1260.0000
572555.1172	2967316.0710	1278.0000
572452.5722	2967316.0710	1287.0000

**Figure 8.** Data extraction results  
**图 8.** 数据提取结果

units m	surface
572528.0298	2967316.0710 1275.0000
572548.1519	2967316.0710 1277.0000
573010.5721	2967316.0710 1225.0000
572750.5333	2967316.0710 1282.0000
572459.5375	2967316.0710 1286.0000
572439.4154	2967101.6938 1260.0000
572555.1172	2967316.0710 1278.0000
572452.5722	2967316.0710 1287.0000

**Figure 9.** Attribute redefinition  
**图 9.** 属性重定义

### 3.3. 耦合地形 - 优化钻孔数据建模的程序模块

地貌数据经过处理后成为能被 EVS 软件识别的 gmf 格式，将 gmf 格式文件导入建立好的模型中，使用模块如图 10 所示：gridding and horizons#1、gridding and horizons、combine horizons、horizons to 3d、explode and scale、file statistics、plume、viewer、post samples、legend。gmf 地形文件导入 gridding and horizons#1 模块，gmf 钻孔数据文件导入 gridding and horizons 模块，combine horizons 模块用于耦合地形数据与钻孔数据，horizons to 3d、plume 模块用于生成三维地质模型，viewer 模块用于显示三维地质模型，post samples、legend 模块用于显示钻孔数据信息，file statistics 模块用于显示地形点信息。为了保证模型的高精度，gridding and horizons#1 模块导入地形文件后需要与 gridding and horizons 模块坐标统一。

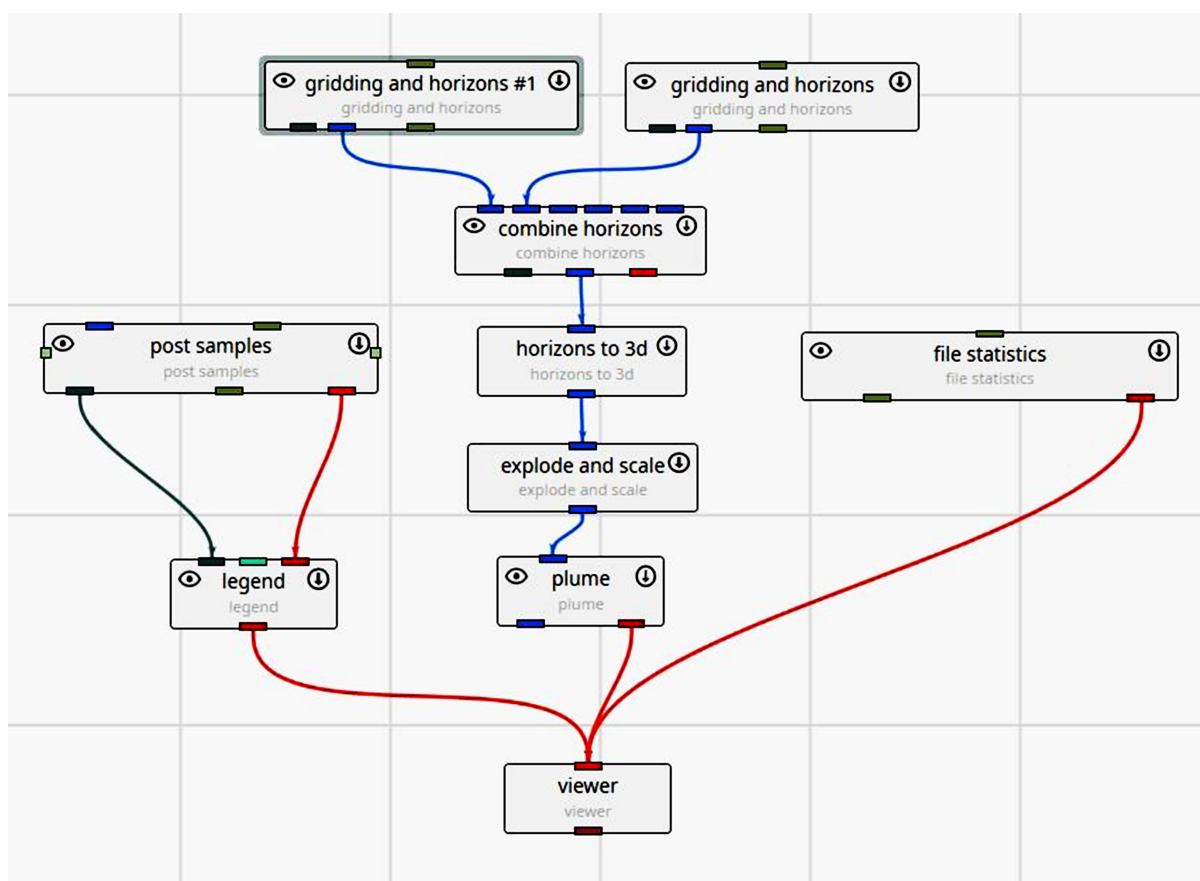


Figure 10. Coupled terrain-optimized borehole data modeling application module processes

图 10. 耦合地形 - 优化钻孔数据建模应用模块流程

## 4. 工程案例

### 4.1. 工程概况

金象煤矿隶属于织金县板桥乡管辖，2023 年 5 月，位于织金县板桥镇、以那镇两镇交界处发生危岩垮塌，对矿区生成经营造成严重影响，需对矿区北侧危岩崩塌区进行应急抢险治理。经查询地质资料得知，危岩崩塌区下存在煤层，为科学化实施抢险治理，需对煤层分布情况进行探明。

矿区段内勘探钻孔揭露的地层主要有：三叠系下统飞仙关组 1 段、三叠系下统飞仙关组 2 段、三叠系下统飞仙关组 3 段、二叠系上统长兴+大隆组、二叠系上统龙潭组、6 号煤层、7 号煤层、14 号煤层、

16号煤层、27号煤层、30号煤层、二叠系上系统峨眉山玄武岩组。矿区内钻孔示意图如图11所示。

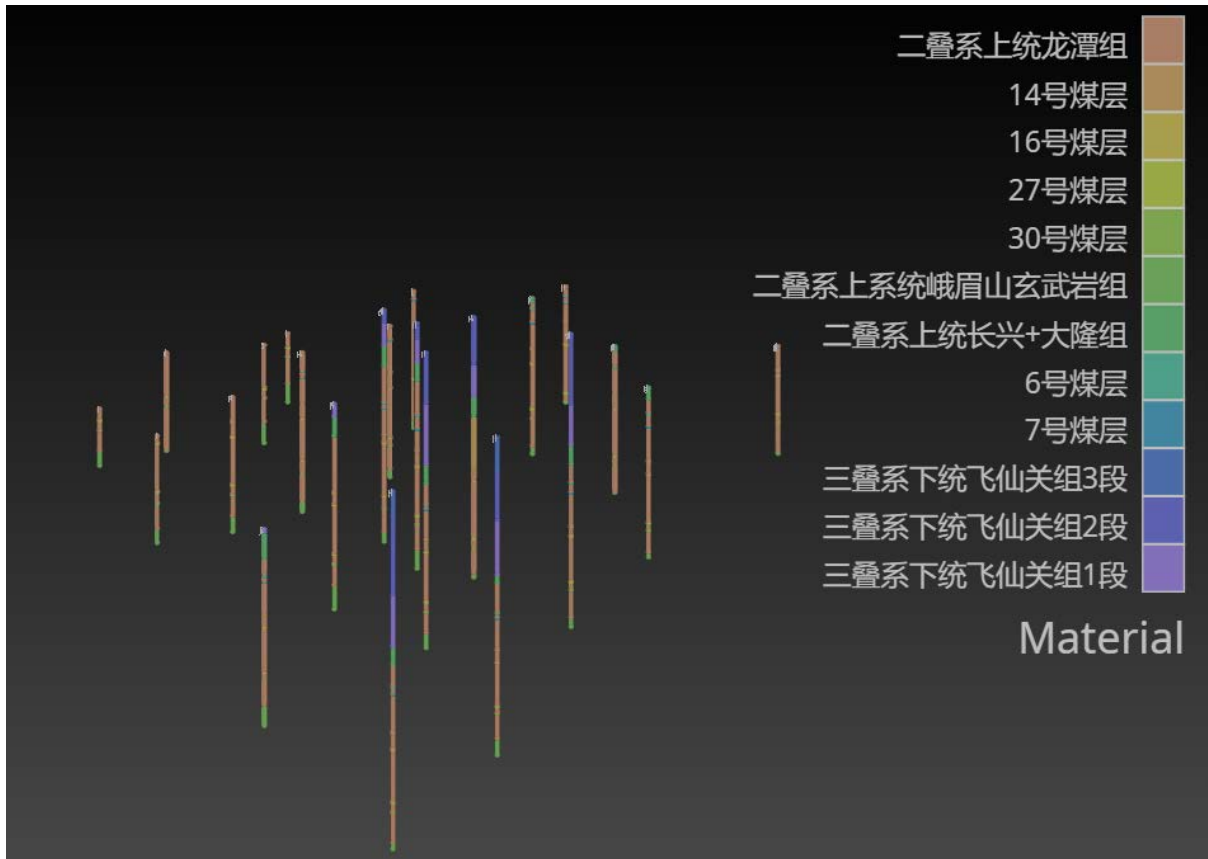


Figure 11. Drilling diagram  
图 11. 钻孔图

#### 4.2. EVS 建模分析

为了能更好地探明煤矿区内的地质情况和煤层分布情况，分别采用地层建模与耦合地形 - 优化钻孔数据的建模方法进行建模，并将两种地质建模方法进行比较和阐明建模效果。

1) 地层建模方法。地层建模能够根据钻孔数据很好的进行层序划分，但在地层出现露头情况时，如图12所示，进行层序划分无法划出地层的露头点，建立的模型会出现地层向下歼灭的情况，如图13所示，这与实际地层倾向不符。且该方法建立的模型地形是根据孔口高程采用插值算法计算得到的，很难真实地反映矿区的地形地貌情况。

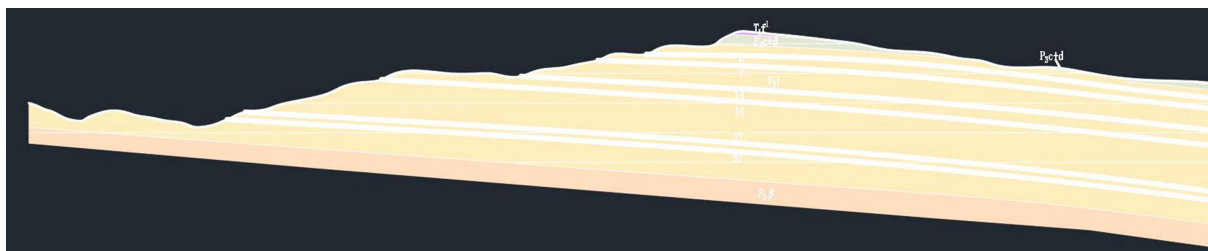


Figure 12. Ground investigation section  
图 12. 地勘剖面



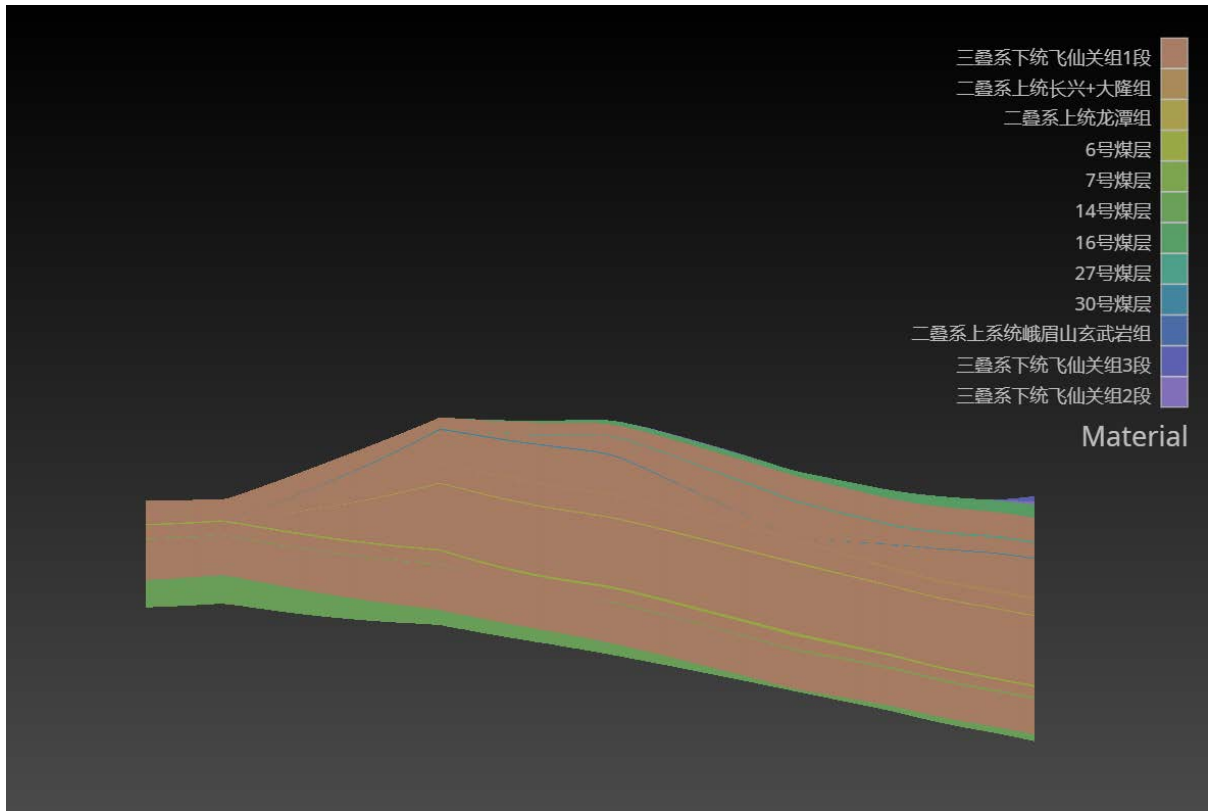


Figure 13. Stratigraphic model section  
图 13. 地层模型剖面

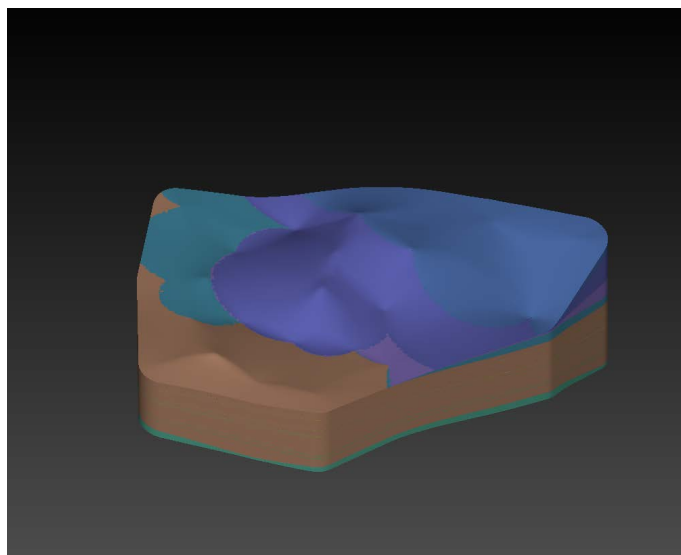
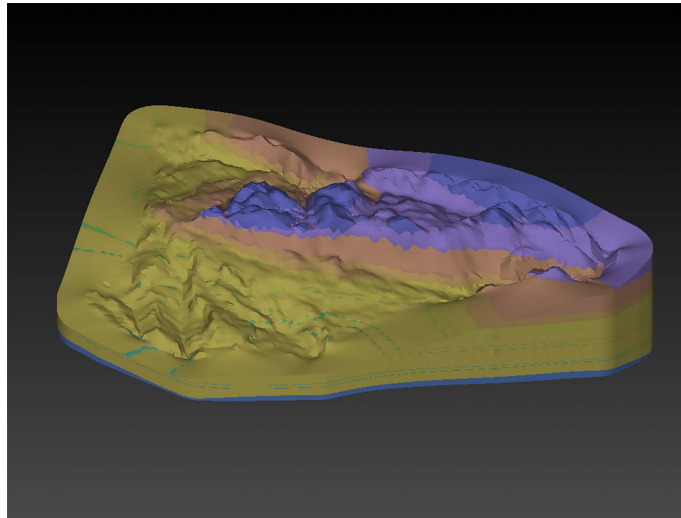


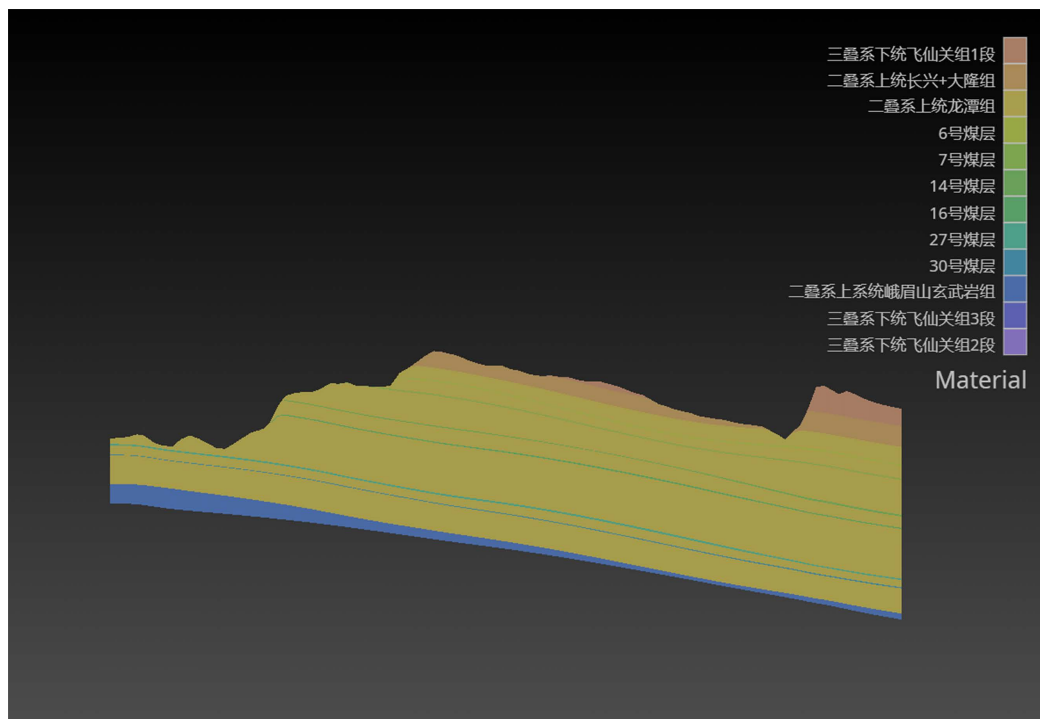
Figure 14. Stratigraphic model  
图 14. 地层模型

2) 耦合地形 - 优化钻孔数据的 EVS 地质建模方法。地层建模建立的剖面图与地勘剖面图进行比较，具有较大的差距。采用耦合地形 - 优化钻孔数据的建模方法建立的地质模型，与实际地层倾向一致且具有真实的地形地貌，如图 15 所示。将地勘剖面图和模型剖面图进行对比如图 12、图 16 所示，可以看出

两者的轮廓和地层倾向情况是较相近的。



**Figure 15.** Coupled terrain-optimized borehole data model  
**图 15.** 耦合地形 - 优化钻孔数据模型



**Figure 16.** Coupled terrain-optimized borehole data model profiles  
**图 16.** 耦合地形 - 优化钻孔数据模型剖面

### 4.3. 模型应用

#### 4.3.1. 开挖功能程序模块

EVS 软件具有开挖功能，能根据模型计算出危岩崩塌区内各个地层的体积，使用模块如图 17 所示：import cad、create tin、distance to surface、select cell sets、intersection、volumetrics、format string、titles。

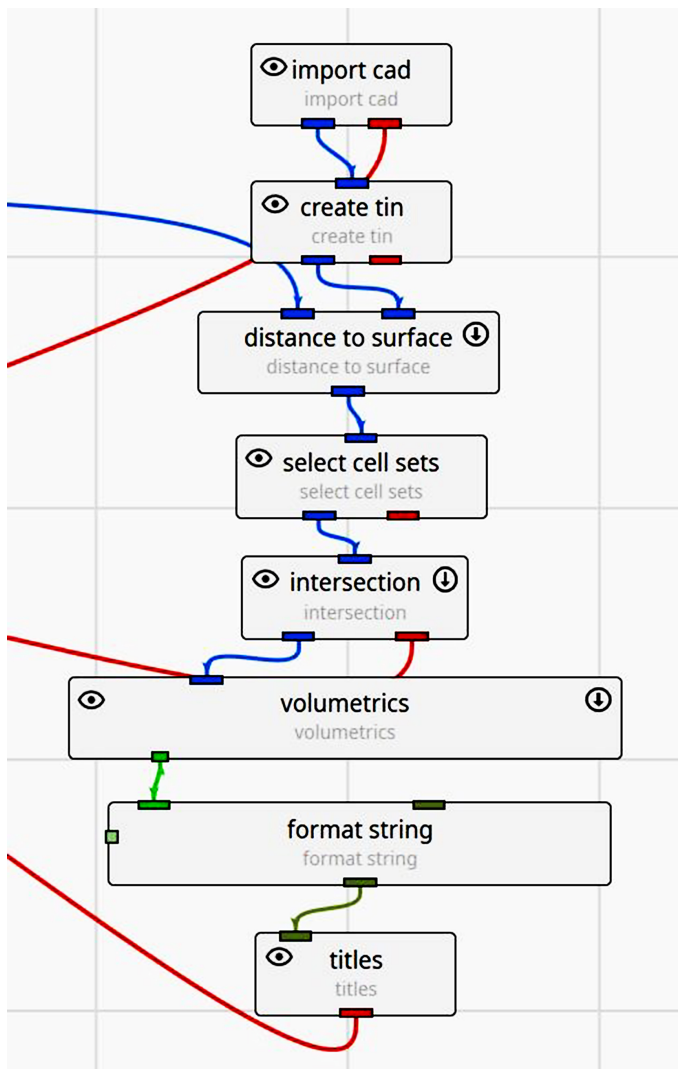


Figure 17. Excavation flow chart  
图 17. 开挖流程

### 4.3.2. 计算结果

在煤矿危岩崩塌区内，三种建模方式计算的煤层储量与传统地勘方式勘测的煤层储量进行对比，详见表 1。两种建模方式的相对误差值：地层建模 6、7 号煤层的误差分别为 22.31%、6.89%；耦合地形 - 优化钻孔数据建模 6、7 号煤层的误差分别为 11.19%、2.99%。耦合地形 - 优化钻孔数据的建模方法具有较低的误差值，证明该方法能更好地符合实际情况。

Table 1. Coal seam reserve table  
表 1. 煤层储量表

方法	6 号煤层储量(万 t)	7 号煤层储量(万 t)
传统勘探	30.533	69.570
地层建模	37.345	74.362
耦合地形 - 优化钻孔数据建模	33.950	67.486

## 5. 总结与讨论

本文采用耦合地形 - 优化钻孔数据的 EVS 地质建模方法对煤矿区进行三维地质建模, 通过地质模型对煤矿区的地质构造情况进行分析, 并统计煤矿区的煤层储量。耦合地形 - 优化钻孔数据的 EVS 地质建模方法建立的模型更能符合实际地质情况; 且统计的 6 号煤层储量为 33.950 万吨, 7 号煤层储量为 67.486 万吨, 该方法统计的煤层储量误差更小。

## 参考文献

- [1] 雷传扬, 等. 基于多源数据和先验知识约束的复杂地质体三维建模研究[J]. 地质论评, 2022, 68(4): 1393-1411.
- [2] Mathers, S.J., Burke, H.F., Terrington, R.L., Thorpe, S., Dearden, R.A., Williamson, J.P., *et al.* (2014) A Geological Model of London and the Thames Valley, Southeast England. *Proceedings of the Geologists' Association*, **125**, 373-382. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2014.09.001>
- [3] 罗明坤, 齐嘉义, 荣海. 基于 GOCAD 方法的漳村煤矿三维地质建模[J]. 当代化工研究, 2022(9): 78-80.
- [4] 曾鹏, 等. 基于 Kriging 插值算法的地质体 BIM 建模技术[J]. 人民长江, 2021, 52(S2): 99-104.
- [5] 陈欢欢, 李星, 丁文秀. Surfer 8.0 等值线绘制中的十二种插值方法[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 52-57.
- [6] 盛世强, 等. 基于 GOCAD 软件的渤中凹陷 428 构造带三维地质建模[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(3): 91-100.
- [7] 雷赞, 孔金玲, 张峰, 杨齐青, 赵长荣. 基于 EVS Pro 的 3D 地质建模[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 107-110.
- [8] 陈兵, 朱泳标, 张燕. 基于 EVS 的三维地质建模研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(6): 6-10, 18.
- [9] 周念清, 等. EVS 耦合地层-岩性三维地质建模方法在南宁地铁工程中的应用[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(2): 246-253.
- [10] 孟美杉, 等. EVS 耦合三维地质模型在地下水污染修复中的应用[J]. 地质论评, 2023, 69(S1): 378-380.
- [11] 高勇强. 基于无人机正射影像和三维模型的复杂地形辅助测量方法及其应用[J]. 测绘通报, 2019(S2): 134-136, 153.
- [12] 黎治坤, 等. 几种无人机正射影像处理软件比较[J]. 测绘通报, 2016(6): 82-86.
- [13] 周乃恩, 贺少帅, 沈宏鑫. 基于 Pix4Dmapper 的应急测绘数据处理技术研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(5): 32-35.
- [14] Zwęgliński, T. (2020) The Use of Drones in Disaster Aerial Needs Reconnaissance and Damage Assessment—Three-Dimensional Modeling and Orthophoto Map Study. *Sustainability*, **12**, Article 6080. <https://doi.org/10.3390/su12156080>