

# 银川盆地三维地质构造模型建立

谭俊林<sup>1</sup>, 刘聪元<sup>2</sup>

<sup>1</sup>宁夏回族自治区地震局, 宁夏地震台, 宁夏 银川

<sup>2</sup>长江三峡勘测研究院有限公司(武汉), 湖北 武汉

收稿日期: 2025年7月11日; 录用日期: 2025年8月8日; 发布日期: 2025年8月19日

## 摘要

为了建立银川盆地三维地质构造模型, 收集整理了前人在银川盆地的地质、石油勘探、人工地震探测成果, 利用三维建模技术, 建立了银川盆地三维地质构造模型, 结果表明, 要建立较为可靠的三维地质构造模型, 应对研究区前人研究资料进行仔细分析, 选择可靠性较高的成果作为地质构造建模的基础资料, 同时应用可靠性较低的资料作为补充, 如果建模数据点较多, 则插值结果与实际地质体更接近, 如果建模数据点稀少, 则插值结果导致数据点不能与实际地质体相吻合, 就要对模型进行反复调整, 直到数据点与模型相吻合, 对于三维断层模型, 要根据断层之间的接触关系对不同断层进行相应调整, 对于三维地层模型, 应根据地层层序, 对相交部分进行调整。

## 关键词

三维地质构造建模, 插值, 银川盆地

# Establishment of a 3D Geological Structure Model for the Yinchuan Basin

Junlin Tan<sup>1</sup>, Congyuan Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ningxia Seismic Station, Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia

<sup>2</sup>Three Gorges Geotechnical Consultants CO. LTD. (Wuhan), Wuhan Hubei

Received: Jul. 11<sup>th</sup>, 2025; accepted: Aug. 8<sup>th</sup>, 2025; published: Aug. 19<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

To establish a three-dimensional geological model of the Yinchuan Basin, the geological, petroleum exploration, and seismic detection results from previous studies in the Yinchuan Basin were collected and compiled. Using 3D modeling techniques, a three-dimensional geological model of the Yinchuan Basin was constructed. The results indicate that to establish a relatively reliable three-

dimensional geological model, the pre-existing research data of the study area should be carefully analyzed, with more reliable results selected as the foundational data for geological modeling, while less reliable data can be used as supplementary material. If there are more data points for modeling, the interpolation results will be closer to the actual geological body. If the modeling data points are sparse, the interpolation may cause the data points to deviate from the actual geological body, necessitating repeated adjustments to the model until the data points align with the model. For the three-dimensional fault model, adjustments should be made to different faults based on their contact relationships. For the three-dimensional stratigraphic model, intersecting sections should be adjusted according to the stratigraphic sequence.

## Keywords

3D Geological Structure Modeling, Interpolation, Yinchuan Basin

Copyright © 2025 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

研究区位于鄂尔多斯地块西缘拗陷带,处于青藏地块东北缘、鄂尔多斯地块和阿拉善地块的结合部位,属于南北地震带北段。前人在此进行了大量的地质[1]-[3]、地球物理勘探工作[4]-[7],这些研究成果通常以平面图或剖面图的形式表现,其实质就是将地层、构造、岩体、波速等地质现象投影到某一平面上进行表达,这种传统的地质信息表达方式容易造成三维地质空间信息损失与丢失,而且使研究人员难以获得隐伏地质信息。为了更好地表达地质信息的三维空间变化,上世纪八十年代 Carlson 从地质学角度提出了地下空间结构的三维空间模型[8],此后,随着计算机技术的不断发展,1993 年 Simon W Houldong 提出了借助计算机的可视化技术,从三维空间角度去进行地质体和地质环境的三维地质建模[9]。

随着三维建模理论和可视化技术的不断发展,计算机地质三维建模技术得到了很大的发展,目前已有数十种三维空间建模方法,这些方法归纳起来就是基于点、基于面和基于体[10]。目前三维地质构造建模技术已经广泛应用于多个领域且发挥了重要作用。张伟等将其应用于本溪地区的地质构造建模[11];张泽人等应用三维建模技术进行断层三维的高精度建模[12];王荣亮等研究如何利用剖面进行三维地质构造建模的技术方法[13];罗开云等提出了复杂三维模型近地表和深层构造融合建模技术并将之应用于实践[14]。

本文以银川盆地前人研究所取得的地质、地球物理资料为基础,利用地学三维建模软件 SKUE-GOCAD,建立了银川盆地三维地质构造模型,从三维空间角度展示了盆地内构造和地层的分布状况,从而为更为清晰地认识盆地内断层和地层分布提供了直接依据。

## 2. 研究范围及数据收集

### 2.1. 研究范围确定

银川盆地北以正谊关断层为界,南以牛首山-罗山断层为界,西以贺兰山东麓断层为界,东以黄河断层为界,确定研究范围为:105.74°E~106.95°E,37.64°N~39.38°N。研究范围确定了模型横向上的展布情况,同时也限定了建模所需数据范围。将模型边界范围利用 Autocad 处理后以 DXF 格式导出(图 1)。

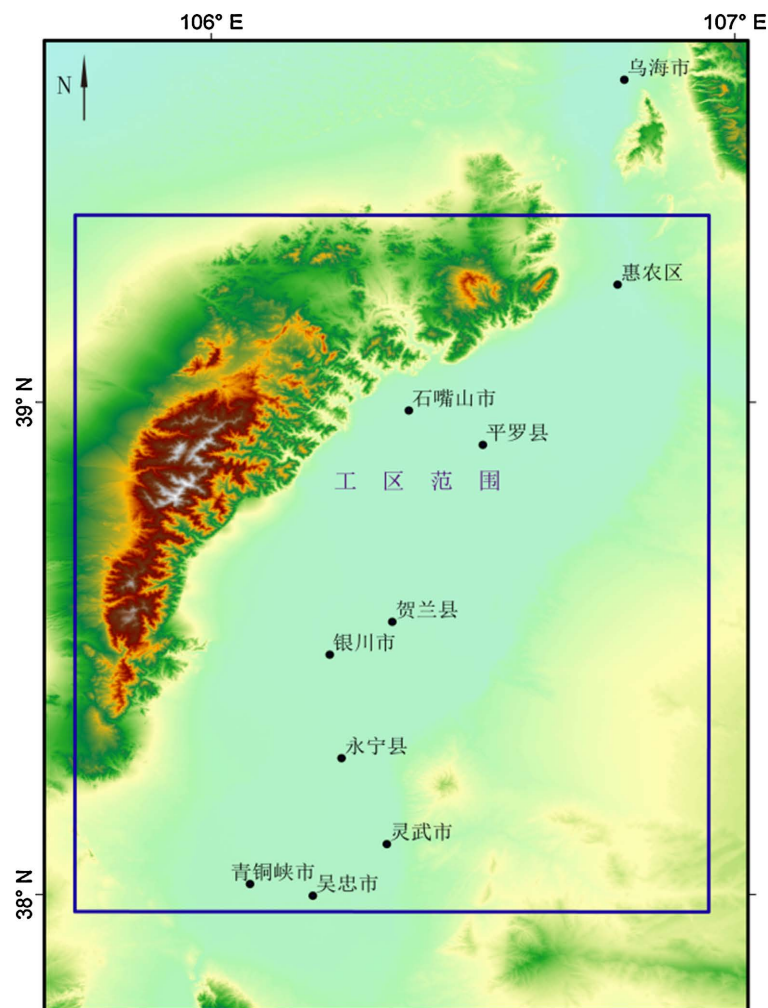


Figure 1. Schematic diagram of work area

图 1. 工区范围示意图

## 2.2. 建模数据的收集整理

建模数据涉及范围较广, 包括地质、电性结构探测成果、地球物理勘探等诸多方面的数据, 应对各方面数据进行收集整理, 确保数据的准确性及有效性。将断层数据、地层层面数据、钻孔数据及地球物理勘探数据分类保存于不同文件夹。工作区断层数据主要包括活动断层分布数据、活动断层分段数据; 钻孔数据是指对判定断层或地层有意义的钻孔数据; 地球物理勘探数据包括高分辨率深地震反射探测剖面、城市活动断层探测项目中的地球物理勘探剖面、石油地球物理勘探剖面、根据石油勘探剖面反演得到的不同地质时期的地层等厚线、深地震勘探的三维透析成像及鄂尔多斯盆地西缘构造带北段深部电性结构剖面等。

由于数据来源途径不同, 不同资料给出的构造解释和地层层位分布略有不同。本文对不同来源数据的可靠性进行了详细分析, 采用较为可靠的数据或不同数据在不同空间中相互补充的方法进行三维地质构造模型的建立。数据来源可靠性判断主要依据两方面: 一是数据是否采用严格的地质学方法或地球物理方法获得。二是数据是否有助于确定断层或地层的空间分布。

各地层在横向上的分布范围按照工区范围内地层的分布来确定, 对于断层产状随着深度变化而变化,

采用深部物探剖面确定断层产状, 首先确定断层的视倾角, 再将视倾角转化为真倾角, 进而确定各断层的空间分布情况。

### 3. 三维地质构造模型建立

#### 3.1. 加载数据

经过筛选的用于三维地质构造建模的数据包括点、线、面数据, 数据格式应满足建模软件的要求。一般数据类型包括 txt 数据、shap 数据、DXF 数据以及二维图像剖面等。打开 SKUE-GOCAD 建立工区, 在 SKUE-GOCAD 中的 File-Import 下面, 对工区范围、地形数据(DEM)、地层数据、断层数据及地球物理数据等按照数据类型分类输入。

#### 3.2. 三维地质构造模型建立

建模的数据加载完成后, 在 workflow 下的 Structure & Stratigraphy 创建新的构造和地层建模流程, 根据流程驱动完成三维地质模型的建立。

##### 3.2.1. 选择地层和断层数据

地层数据和断层数据是建立三维地质构造模型的基础, 首先选择地层数据, 研究区出露地层有第四系(Q)、新近系和古近系(N + E)、中生界和古生界(Mz + Pz)及前寒武系(Anz)。根据出露地层前后建立地层柱, 并确定各地层之间的接触关系, 其中第四系、新近系、古近系及中生界和古生界之间为整合接触关系、中生界和古生界与前寒武系之间为不整合接触关系。其次选择断层数据, 并根据正断层、逆断层及走滑断层对断层进行分类。地层数据和断层数据加载后, 根据工区范围, 建立六面体工作区域, 根据加载资料确定六面体顶部和底部的高程值(Z 值)。

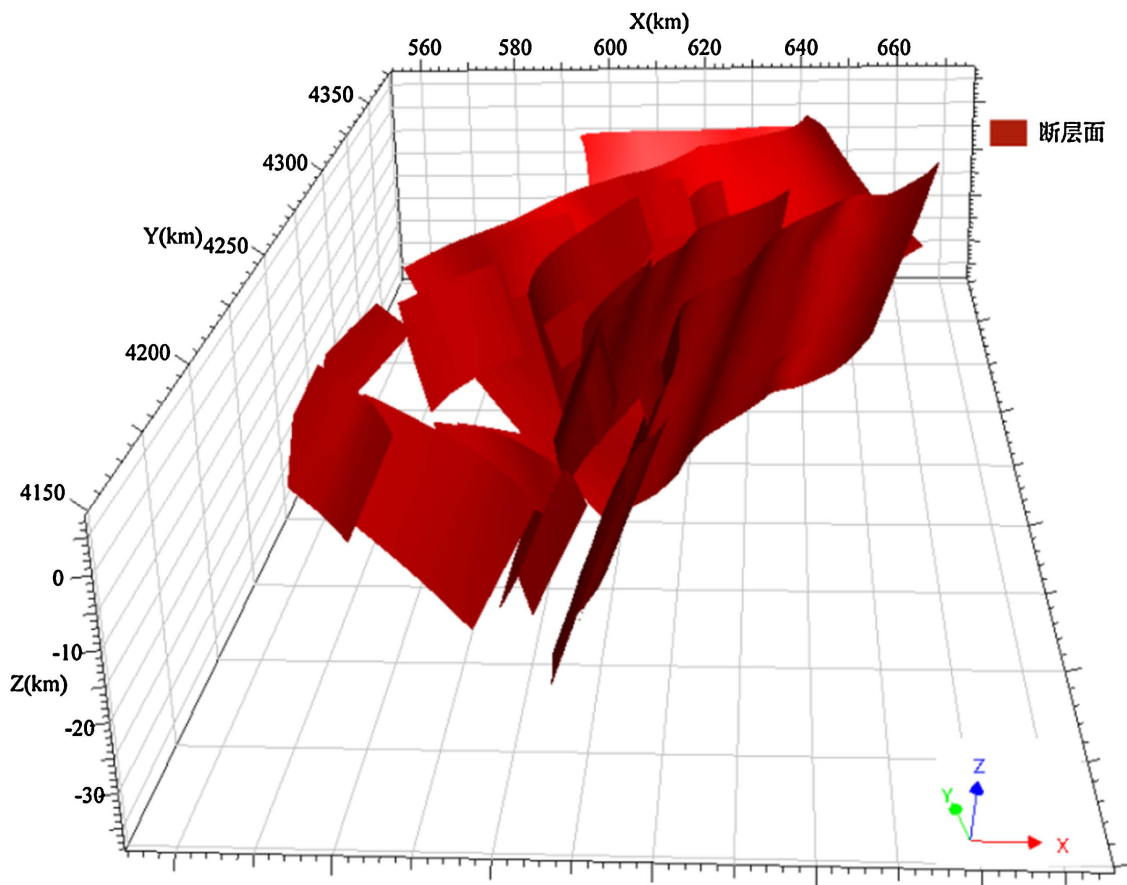
##### 3.2.2. 建立断层网络

断层网络(Fault Network)的建立即形成断层三维模型。SKUE-GOCAD 软件采用 Delaunay 三角剖分算法形成不规则的三角网格来构建曲面, 如果直接利用较为稀疏的点构建三角网格, 形成的网格棱角不光滑, 得到的断层模型比较粗糙, 为使形成的断面更符合实际情况, 需要对离散点进行插值处理。目前常用的插值方法有距离幂次反比法、克里金插值法及离散光滑插值法等。距离幂次反比法和克里金插值法具有明显的平滑效应, 插值后形成的层面与原始控制点不能完全吻合, 适用于起伏变化不大的地层, 不能满足起伏变化的地层和地质体建模要求。为解决复杂地形条件下的建模要求, SKUE-GOCAD 开发了一种新的插值方法 - 离散光滑插值(DSI), 它可将插值结果同原始数据点再次进行匹配, 修正插值过程中存在的几何畸变, 使得原始数据点全部落在地层曲面上, 能实现对非连续的地质体模型的构建, 例如断层、地层尖灭等。以每条断层的原始点和工区范围作为约束, 利用 DSI 方法进行插值, 然后构建网格化曲面, 根据形成的网格化曲面是否满足模型要求, 可以多次对网格化曲面进行调整, 使生成的曲面通过所有原始控制点, 从而实现网格化曲面完全忠实于原始控制点的目的。

在断层网格化曲面形成后, 须确定各断层之间的接触关系, 接触关系分为独立断层、分支断层及交叉断层。接触关系确定后, 对于分支断层及交叉断层, 对接触或交叉部分根据需要进行调整, 以满足模型需求(图 2)。

##### 3.2.3. 建立地层模型

地层模型是利用地层界面控制点通过插值建立的, 三维地层模型建立可以通过以下三种途径实现: 一是对于地形起伏变化不大的区域, 直接利用建模流程实现地层建模; 二是对于地形起伏变化较大的区域, 可以利用 Skue 的中 Applications-Wizards-Surfacd Creation 建立各个地层界面; 三是同样对地层起伏



**Figure 2.** Three-dimensional fault model of Yinchuan Basin  
**图 2.** 银川盆地三维断层模型

较大的区域,对某一地层通过单独建立工区,通过流程建立地层面。本文工区范围内,地形变化大,如果利用较为稀疏的地层界面控制点、直接按建立地质建模流程形成地层界面,往往与实际地层不相符,因此,在建立地质模型之前,应综合利用区域地质图和地球物理勘探资料确定地层界面及分布范围,对于剥蚀地层,地层厚度应赋值为 0,然后在 SKUE\_GOCAD 中利用 Applications-Wizards-Surfacd Creation 建立各个地层界面,或者通过创建新的地质建模流程,利用流程创建地层界面,并对生成界面反复调整,使之满足三维地质建模要求。同时利用 DEM 数据,在 Applications-Wizards-Surfacd Creation 下生成地表地形面,将该面复制,并把复制面的 z 值赋值为模型深度,将复制面作为模型底面。将创建好的地层界面模型及 DEM 面和底面同时加载进地质构造建模流程的地层中,然后按照建模流程建立三维地层界面模型(图 3),在生成面模型的过程中,可能涉及到地层相交问题,此时应根据地层层序进行调整。

### 3.2.4. 建立体模型

地层模型只是以面的形态表示,内部无对象填充,要进一步研究地层和断层和分布状况,必须建立实体模型,实体模型可以对地层赋予不同的属性值,同时针对不同属性进行一系列进一步研究。实体模型是在构造模型和地层模型的基础上建立的。

依照建模流程,可以生成两种实体对象,分别为实体模型对象(Solid)和网格模型对象(SGrid)。网格对象是由六面体格子组成的对象,在建模流程中建立地质网格(Building the Geologic Grid)中,先设置网格大小,网格大小要根据模型精度设定。网格越小,对计算机的需求越高,计算所需时间越长,模型精度越



高; 反之, 网格越大, 对计算机需求较低, 计算所需时间越短, 模型精度较差。网格大小设定后计算机机会计算各地层的厚度, 最后根据厚度将各地层界面间填充为实体(图 4)。对于地质构造实体模型, 可以通过切片、剖面等分析手段, 进行断层分布特征及地层分布特征的研究, 从而系统地把握地质构造特征。如在实体模型中布置一系列剖面, 通过剖面分析, 确定各剖面断层的性质及其相互接触关系、地层的分布特征及相互接触关系等。

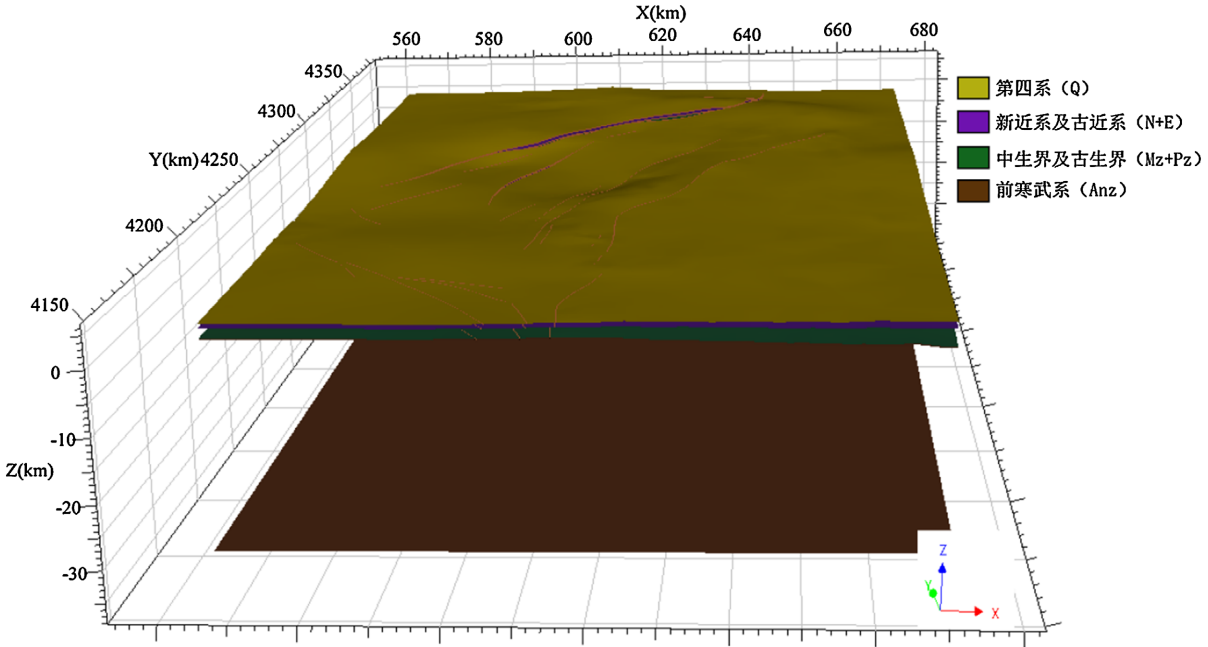


Figure 3. Three-dimensional stratigraphic model of Yinchuan Basin  
图 3. 银川盆地三维地层模型

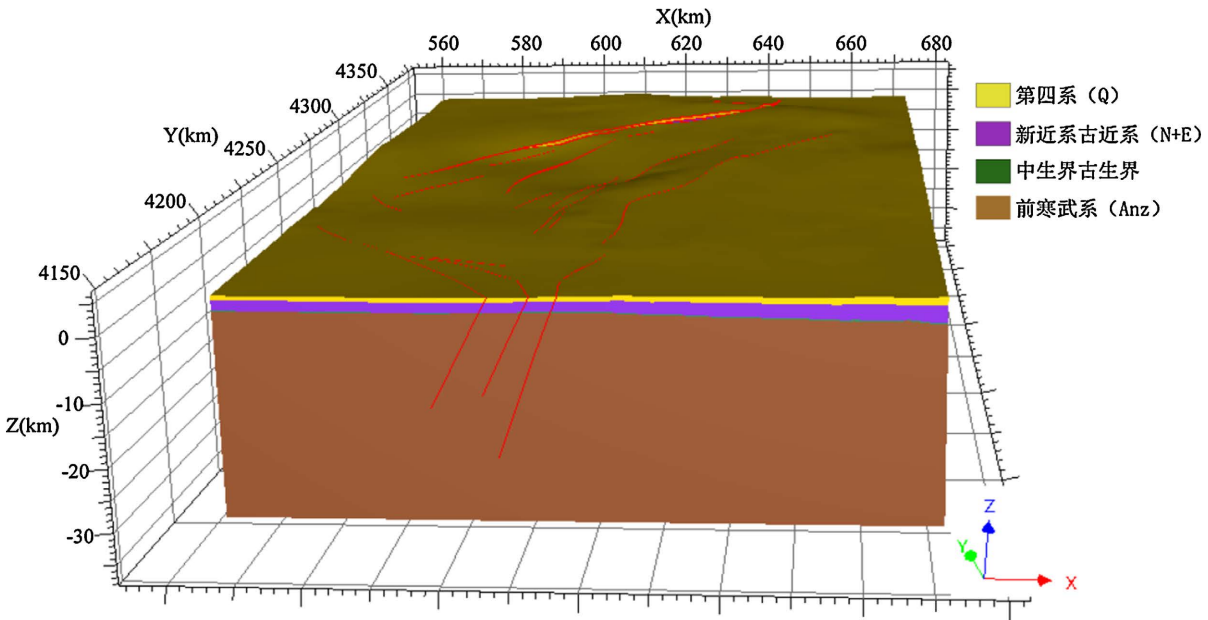


Figure 4. Three-dimensional geological structure model of Yinchuan Basin  
图 4. 银川盆地三维地质构造实体模型

### 3.3. 模型可靠性分析

三维地质构造模型建立过程中,为了确保模型的可靠性,对于较为稀疏的数据,采用离散光滑插值(DSI)方法进行插值,同时使原始数据与模型完全吻合,对于不吻合的个别原始数据,采用手动调节的方法使之完全吻合。建模数据主要集中在盆地西边界贺兰山东麓断裂和东边界黄河断裂之间,因此采用离散光滑插值后建立的三维地质构造模型,在盆地东、西边界之间可靠性较高,在盆地边界之外可靠性明显降低。

## 4. 结论

三维地质建模是综合多学科、多种来源数据,通过数据处理综合得到的适用于生产实际和科学研究的实体模型。通过银川盆地三维地质模型的建立,从中得到如下结论:

1) 应完整收集三维地质建模区域内所涉及的地质、地球物理、钻孔、地表高程等多领域的资料,对资料进行整理分析,选择可靠性高的资料用于三维建模,同时考虑到资料分布不均匀的问题,可以利用可靠性较低的资料作为对数据空区的补充。

2) 对于建立的三维断层模型,根据断层之间的相互接触关系,利用 Skue-gocad 所提供的断层编辑工具进行调整。

3) 对于建立的三维地层模型,应根据建模确定的地层层序,对相交或不合理层位进行调整。

数据点的分布均匀性直接影响着插值结果,如果数据点较多,且分布均匀,则插值结果与实际地质体更接近,如果数据点稀少或分布不均匀,则插值结果不能很好地与实际地质体相吻合,这时就要对模型进行反复调整,尽可能消除数据点稀少或分布不均匀带来的影响。

## 基金项目

宁夏自然科学基金项目——“银川盆地中南部三维速度模型建立”资助(2023AAC03813)。

## 参考文献

- [1] 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [2] 柴炽章, 孟广魁, 马贵仁, 等. 银川市活动断层探测与地震危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] 李天斌. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲推覆构造特征及演化[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [4] 刘保金, 鄯少英, 姬计法, 等. 贺兰山和银川盆地的岩石圈结构和断裂特征——深地震反射剖面结果[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(2): 179-190.
- [5] 李燕, 刘保金, 鄯少英, 等. 利用地震折射和反射波资料研究银川盆地浅部结构和隐伏断裂[J]. 地球物理学报, 2017, 60(8): 3096-3109.
- [6] 鄯少英. 银川盆地地壳精细结构, 孕震构造与隐伏活断层浅层地震探测[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- [7] 侯旭波, 尹克敏, 林中凯, 等. 银川盆地构造反转及其演化与叠合关系分析[J]. 高校地质学报, 2014, 20(2): 277-285.
- [8] Carlson, E. (1987) Three Dimensional Conceptual Modeling of Subsurface Structures. *ASPRS AGSM Annual Convention*, Washington DC, 16-21 March 1987, 188-200.
- [9] Houlding, S.W. (1994) 3D Geoscience Modeling: Computer Techniques for Geological Characterization. Springer-Verlag.
- [10] 吴立新, 史文中, Christopher Gold. 3D GIS 与 3D GMS 中的空间构模技术[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 5-11.
- [11] 张伟, 薛林福, 彭冲, 等. 基于剖面三维地质建模方法及在本溪地区应用[J]. 地质与资源, 2013, 22(5): 403-408.
- [12] 张泽人, 郭峰, 于海生, 等. 高精度三维复杂断层建模方法及应用[J]. 录井工程, 2024, 35(3): 157-162.
- [13] 王荣亮, 郭军, 陈龙. 基于剖面图的三维地质建模算法研究与技术应用[J]. 煤炭科技, 2022, 43(3): 109-113.
- [14] 罗开云, 杨剑, 马兰, 等. 复杂三维模型近地表和深层构造融合建模技术及应用[C]//中国石油学会石油物探专业委员会. 第二届中国石油物探学术年会论文集(上册). 涿州: 中国石油东方地球物理公司采集技术中心河北省地震勘探数据采集技术创新中心, 2024: 90-93.