

---

# 断层构造演化过程解析与 4D 建模系统 V1.0

## 用户手册

---

---

# 1. 引言

## 1.1. 编写目的

为了让本系统的用户正确安装、运行以及维护系统，特编写本用户手册。

## 1.2. 背景

断层构造演化过程解析与建模在地质模拟、工程建设和灾害防治等诸多领域具有重要的研究意义与应用价值。

但是，目前高成本的热年代学断层发育时间定年方法、低效的断层构造发育过程人工解析方法和受限于钻孔数据的三维地质建模方法，限制了诸多断层构造在发育过程解析与时空建模中的应用。为了解决以上问题，在南京师范大学李安波老师的指导下，由合作开发了名为“断层构造时空建模系统”1.0 版本的软件，来实现断层构造的时空解析与建模功能，降低断层解析与建模过程的数据依赖性并提高自动化程度。

## 1.3. 定义

(1) **开发者**：本系统为南京师范大学 19 级地理信息的几位学生和指导老师。

(2) **用户**：指运行系统或者直接与系统发生交互作用的个人或集团。本软件的用户大多数为地质工作者以及相关地质研究专家与学者。

(3) **GIS**：是 Geographic Information System 的缩写，即地理信息系统。

(4) **ArcMap**：是一个用户桌面组件，具有强大的地图制作，空间分析，空间数据建库等功能。是美国环境系统研究所于 1978 年开发的 GIS 系统。

(5) **ArcGIS Engine**：是用于构建定制应用的一个完整的嵌入式的 GIS 组件库。利用 ArcGIS Engine，开发者能将 ArcGIS 功能集成到一些应用软件。

(6) **Visual Studio**：是美国微软公司的开发工具包系列产品。VS 是一个基本完整的开发工具集，它包括了整个软件生命周期所需要的大部分工具，如 UML 工具、代码管控工具、集成开发环境(IDE)等等。所写的目标代码适用于微软支持的所有平台。

(7) **C#**：是微软公司发布的一种面向对象的、运行于 .NET Framework 和 .NET Core(完全开源，跨平台)之上的高级程序设计语言。并定于在微软职业开发者论坛(PDC)上登台亮相。

---

C#是微软公司研究员 Anders Hejlsberg 的最新成果。C#看起来与 Java 有着惊人的相似；它包括了诸如单一继承、接口、与 Java 几乎同样的语法和编译成中间代码再运行的过程。

(8) **Linux:** 是一套免费使用和自由传播的类 Unix 操作系统，是一个基于 POSIX 和 Unix 的多用户、多任务、支持多线程和多 CPU 的操作系统。它能运行主要的 Unix 工具软件、应用程序和网络协议。它支持 32 位和 64 位硬件。Linux 继承了 Unix 以网络为核心的设计思想，是一个性能稳定的多用户网络操作系统。

(9) **人机交互:** 是一门研究系统与用户之间的交互关系的学问。系统可以是各种各样的机器，也可以是计算机化的系统和软件。人机交互界面通常是指用户可见的部分。用户通过人机交互界面与系统交流，并进行操作。小如收音机的播放按键，大至飞机上的仪表板，或发电厂的控制室。人机交互界面的设计要包含用户对系统的理解（即心智模型），那是为了系统的可用性或者用户友好性。

(10) **DEM:** 数字高程模型 (Digital Elevation Model)，简称 DEM，是通过有限的地形高程数据实现对地面地形的数字化模拟（即地形表面形态的数字化表达），它是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型，是数字地形模型(Digital Terrain Model，简称 DTM)的一个分支，其它各种地形特征值均可由此派生。

## 1.4. 参考资料

- (1) 《计算机软件质量保证计划规范》 GB/T12504-1990
- (2) 《计算机软件产品开发文件编制指南》 GB5867-88
- (3) 《计算机软件开发规范》 GB5866-88
- (4) 《计算机软件需求说明书编制指南》 GB5865-88
- (5) 《C#窗体间相互调用及数据传递方法》 浙江工业大学/杭州电子科技大学
- (6) 《设计模式：可复用面向对象软件的基础》 机械工业出版社
- (7) 《简约至上：交互式设计四策略》 人民邮电出版社
- (8) 《地质信息系统开发与实践》 科学出版社

## 2. 软件概述

### 2.1. 目标

断层构造演化过程解析与 4D 建模系统的目的是帮助地质工作者与相关专家学者更加方便快捷对断层发育过程进行解析与建模。本软件利用用户采集好的 DEM 高程数据与平面地质图数据，通过用断层发育次序与时间解析、地质图恢复和断层构造三维建模，全面提高断层演化过程的解析与建模效率，降低数据依赖性。

本软件系统还配有 ArcMap 相关的辅助功能，给予用户一定的自由度与操作性，用户不仅可以通过本系统对断层构造建模，还能在系统内添加、修改、查询、删除原始数据。

### 2.2. 功能

功能描述	输入	处理	输出	终端/ 用户
数据加载	DEM 高程数据与平面地质图数据（地层面、地质界线、断层线）	打开相应数据并逐条读入	无	N
数据查看	DEM 高程数据与平面地质图数据	读入内存，并在主界面显示	无	N
视图	无	使用视图工具	鹰眼、编辑、地图布局视图等工具条	N
断层演化过程解析	发育次序解析	推断断层间的先后发育次序	带发育次序属性的断层矢量数据	N
	发育时期解析	推断断层的发育时期	带发育开始和结束时间的断层矢量数据	
地层恢复	复原地质图	消减断层，复原地层形态	多期次地质图序列	N
断层三维建	基岩地层三维建模	逐地层的构建	基岩地层三维模型	N

模		三维模型	集合	
	断层面三维建模	逐断层的构建 三维模型	断层面三维模型集 合	
帮助	无	使用帮助文档	帮助文档	N

### 3. 运行与开发环境

#### 3.1. 运行环境

##### 3.1.1. 软件环境

操作系统：Windows 7 及以上

运行环境：.NetFramework 4.0 以上

支撑系统软件：ArcGIS Engine10.2

##### 3.1.2. 硬件环境

处理器：1.6GHz 或更高版本的处理器（推荐 2.3GHz 以上）

运行内存：2GB 及以上（推荐 4GB 以上）

外存容量：50MB 以上可用硬盘空间

联机或脱机：脱机

媒体及其存储格式：本软件无媒体设备支持

设备型号数量：常用计算机一台

#### 3.2. 输入及输出设备

输入及输出设备的型号和数量，联机或脱机。

表 3.1 输入及输出设备

设备	设备名称	型号	数量	工作状态
输入设备	键盘	任何键盘均可	1	脱机

---

输出设备	显示器	1027*768 分辨率及以上	1	脱机
------	-----	-----------------	---	----

### 3.3. 客户端开发

断层构造演化过程解析与 4D 建模系统的客户端主要采用 ArcGIS Engine 进行开发，开发语言选用 C#，使用 Visual Studio 2012 开发工具平台。客户端目前只支持 Windows 系统运行，不支持 Linux 系统。

## 4. 安装与卸载

### 4.1. 安装

### 4.2. 卸载

## 5. 软件功能

### 5.1. 程序主界面

断层构造的时空建模系统主界面主要包括菜单栏、工具栏、图层栏、工作栏、鹰眼以及状态栏五个部分。菜单栏文件、预处理、时间信息解析、地质图恢复、断层构造建模和帮助菜单；工具栏包括视图的操作工具；图层栏包括地图文档的内容列表；工作栏主要包括显示的视图内容；鹰眼提供工作栏视图的缩略视图；状态栏包括投影坐标、版本号以及开发单位（如图 5.1 所示）。

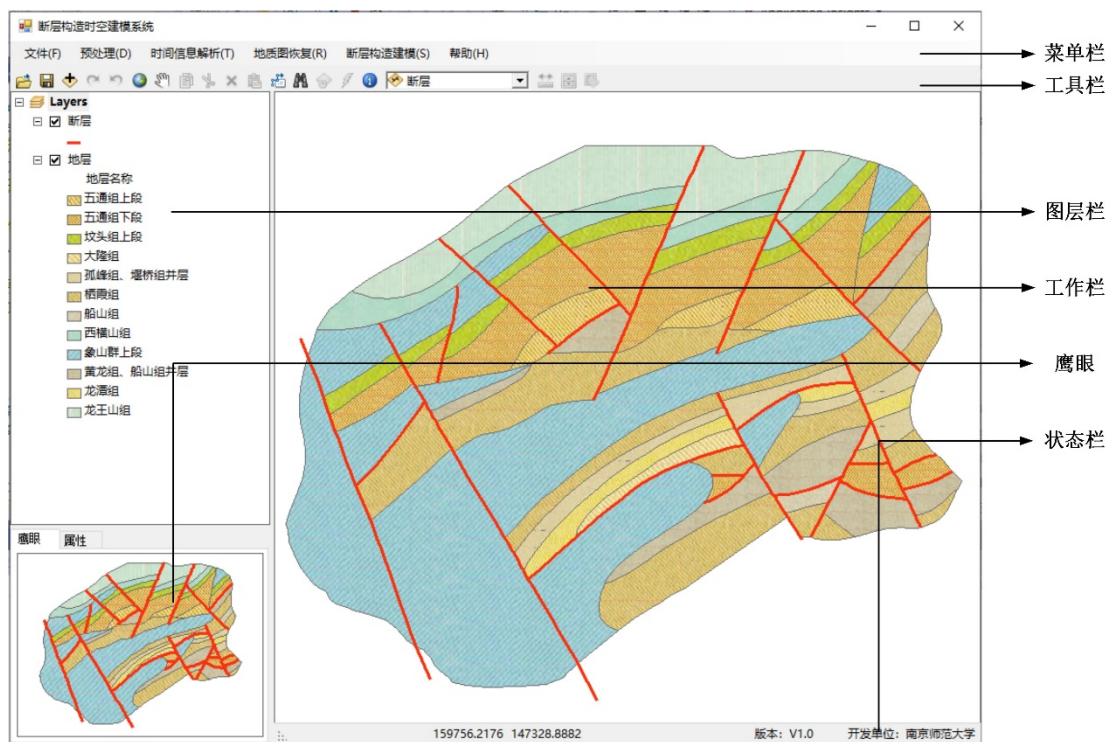




图 5.1 系统主界面


## 5.2. 文件

### 5.2.1.数据读取

数据读取功能主要包括矢量数据读取、栅格数据读取和地图文档加载。

(1) 依次点击菜单栏的 **文件(F)** 菜单、**数据读取** 菜单和 **矢量数据读取** 菜单，或者点击工具栏的  按钮，浏览本地矢量数据并添加至工作栏；

(2) 依次点击菜单栏的 **文件(F)** 菜单、**数据读取** 菜单和 **栅格数据读取** 菜单，或者点击工具栏的  按钮，浏览本地栅格数据并添加至工作栏；

(3) 依次点击菜单栏的 **文件(F)** 菜单、**数据读取** 菜单和 **地图文档加载** 菜单，或者点击工具栏的  按钮，浏览本地地图文档并添加至工作栏。

### 5.2.2.另存为

点击“另存为”，可以将当前视图保存为(.mxd)或者(.mxt)格式文件，见图 5-4。数据视图可以保存为(.mxd)文件，布局视图可以保存为(.mxt)文件做为制图模板。



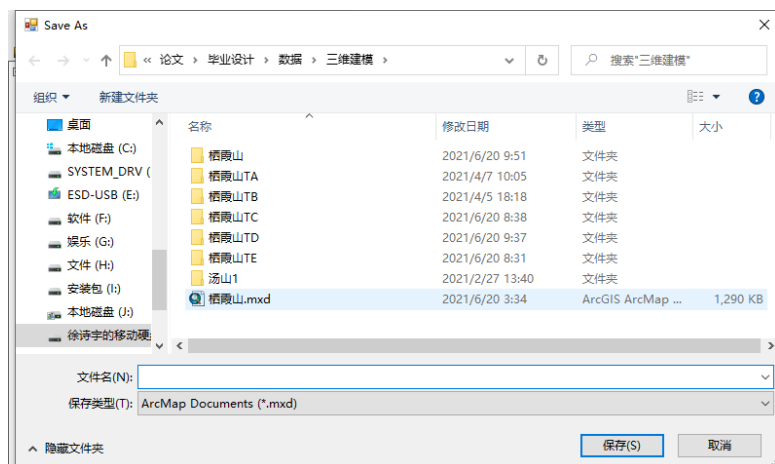


图 5.2 另存为界面

### 5.2.3. 设置

依次点击菜单栏的 **文件(F)** 菜单和 **设置** 菜单，弹出设置界面；用户可在此设置全局的输出结果保存路径、中间数据保存路径和默认插值间隔。

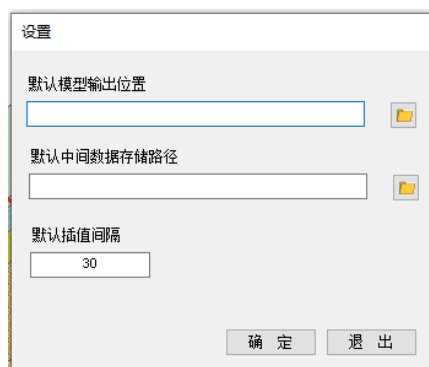


图 5.3 设置界面

### 5.2.4. 退出

单击“退出”按钮即可退出系统程序。

## 5.3. 时间信息解析

系统运行后，分别加载研究区域的地层面要素和断层线要素。点击 **时间信息解析(T)** 菜单会弹出断层发育时间信息解析对话框，主要包括发育次序解析选项卡和发育时间解析选项卡。

5.3.1.数据准备

(1) 断层线矢量数据，esri shapefile 格式，包含下表所列字段：

表 5.1 输入断层线数据字段表

字段	类型	说明	备注
Id	整型	断层 Id	从 0 开始递增
dip	浮点型	倾角	0-90
strike	浮点型	走向	0-360
incli	浮点型	倾向	0-360
width	浮点型	宽度	≥0

(2) 地层面矢量数据，esri shapefile 格式，包含下表所列字段：

表 5.2 输入地层面数据字段表

字段	类型	说明	备注
Id	整型	地层 Id	从 0 开始递增
dip	浮点型	倾角	0-90
strike	浮点型	走向	0-360
incli	浮点型	倾向	0-360
name	文本型	地层名称	
area	浮点型	地层面积	>0

(3) 地层层序表，csv 格式，地层按照发育时间由早到晚依次排列；如图 5.4 所示，第一列为地层的发育序号，第二列为地层名称。

0	龙王山组
1	龙潭组
2	黄龙组、船山组并层
3	象山群上段
4	西衡山组
5	船山组
6	栖霞组
7	孤峰组、堰桥组并层
8	大隆组
9	坟头组上段
10	五通组下段
11	五通组上段

图 5.4 地层层序表示例

### 5.3.2.断层发育次序解析

断层发育次序解析选项卡，包括断层要素选择和默认发育编码字段设置等操作。

断层发生次序解析的具体步骤如下：


- (1) 点击 **发育次序解析** 选项卡，点击断层要素选择的下拉框选中视图中的断层线要素或者点击  读取断层线矢量数据，并设置默认的发育编码字段名称（默认为 code）；



图 5.5 断层发育次序解析界面

- (2) 点击 **执行** 按钮完成断层发育次序解析，程序会将断层发育次序编码结果存储到断层矢量数据的对应属性字段中；

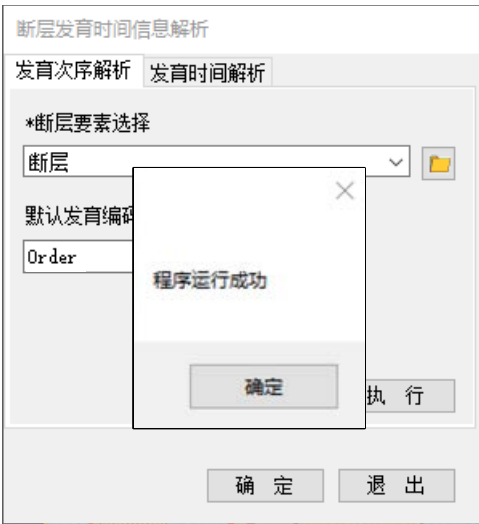


图 5.6 断层发育次序解析运行界面

- (3) 打开断层矢量文件属性表，查看发育次序推断结果。



Id	倾角	走向	倾向	时序
1	50	110	200	TB
2	50	120	210	TC
3	50	52	142	TA
4	50	78	168	TA
5	40	140	230	TA
6	68	22	112	TB
7	40	134	224	TC
8	40	67	157	TD
9	50	66	156	TC
10	50	134	224	TB

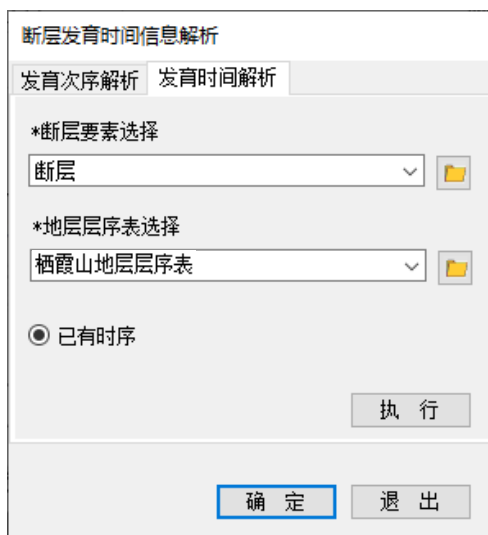
图 5.7 断层发育次序推断结果

### 5.3.3.断层发育时间解析

断层发育时间解析选项卡，包括断层要素选择、地层层序表选择和已有时序等操作。其中，地层层序表为 CSV 格式的表格文件，如果勾选已有时序选项表明选择的断层要素数据已完成发育次序解析并具备发育编码字段，反之则未经过发育次序解析。

断层发育时间解析的具体步骤如下：

（1）点击 **发育时间解析** 选项卡，点击断层要素选择的下拉框选中视图中的断层线要素或者点击  读取断层线矢量数据，点击【地层层序表选择】下方的  按钮读取地层层序表文件，根据时序是否已经计算的情况选择勾选 ☒ 已有时序；



该对话框标题为“断层发育时间信息解析”，包含两个子选项卡：“发育次序解析”和“发育时间解析”，当前选中的是“发育时间解析”。

在“发育时间解析”选项卡下，有以下配置项：

- \*断层要素选择**：显示一个下拉菜单，当前选中“断层”，右侧有一个文件夹图标按钮。
- \*地层层序表选择**：显示一个下拉菜单，当前选中“栖霞山地层层序表”，右侧有一个文件夹图标按钮。
- 时序选择**：包含两个单选按钮，其中 ☒ **已有时序** 被选中。
- 执行按钮**：位于配置项下方右侧，标有“执行”字样。
- 底部按钮**：对话框底部有两个按钮，左侧为“确定”（带有蓝色边框），右侧为“退出”。

图 5.8 断层发育时间解析界面

（2）点击 **执行** 按钮完成断层发育时间解析，程序会将断层发育时间推断结果存储到断层矢量数据的对应属性字段中；

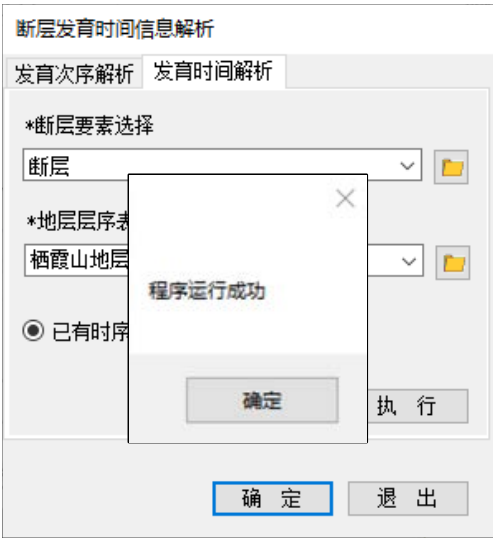


图 5.9 断层发育时间解析运行界面

(3) 打开断层矢量文件属性表，查看发育时间推断结果。

Id	倾角	走向	倾向	时序	时期上界	时期下界
1	50	110	200	TB	象山群下段	全新统
2	50	120	210	TC	象山群下段	全新统
3	50	52	142	TA	象山群下段	全新统
4	50	78	168	TA	象山群下段	西横山组
5	40	140	230	TA	西横山组	全新统
6	68	22	112	TB	船山组	全新统
7	40	134	224	TC	西横山组	全新统
8	40	67	157	TD	西横山组	全新统
9	50	66	156	TC	西横山组	全新统
10	50	134	224	TB	西横山组	全新统

图 5.10 断层发育时间推断结果

5.4. 地质图恢复

本环节主要用于自动化地推断地层被断层切断前的形态和分布。用户可基于断层发育次序从新到老地选择并逐次恢复地层，并非一次性恢复全部地层。

其中，【断层构造地质图恢复】菜单包括，【盘体地层提取】、【地质界线分段】和【地层面恢复功能】。

5.4.1. 数据准备

(1) 断层线矢量数据，esri shapefile 格式，除表 5.1 外需添加下表所列字段：

表 5.3 地质图恢复输入断层线补充字段表

字段	类型	说明	备注
Code	文本型	断层发育次序编码	从 TA 开始递增
start	文本型	断层发育开始时间 对应的地层名称	

end	文本型	断层发育结束时间 对应的地层名称	
-----	-----	---------------------	--

(2) 地层面矢量数据，具体要求与 5.3.1 所描述地层数据一致；

5.4.2.盘体地层提取

盘体地层提取的具体步骤如下：

(1) 点击 地质图恢复(R) 菜单，点击 盘体地层提取 菜单，弹出盘体地层提取界面。

盘体地层提取

\*地层要素选择

\*断层要素选择

断层分段编号

\*盘体地层输出位置

确 定

退 出

图 5.11 盘体地层提取界面

(2) 点击断层要素选择的下拉框选中视图中的断层线要素或者点击 读取断层线矢量数据，点击地层要素选择的下拉框选中视图中的地层面要素或者点击 读取地层矢量数据，设置要分析的断层编号和盘体地层提取结果的输出路径；

盘体结构分析

\*地层要素选择

地层

\*断层要素选择

断层

断层分段编号

1

\*盘体图层输出位置

H:\Temp\model

确 定

退 出

图 5.12 盘体地层提取的参数设置

(3) 点击 **确定** 按钮，完成盘体地层提取，并将提取出的盘体地层加载至任务栏。

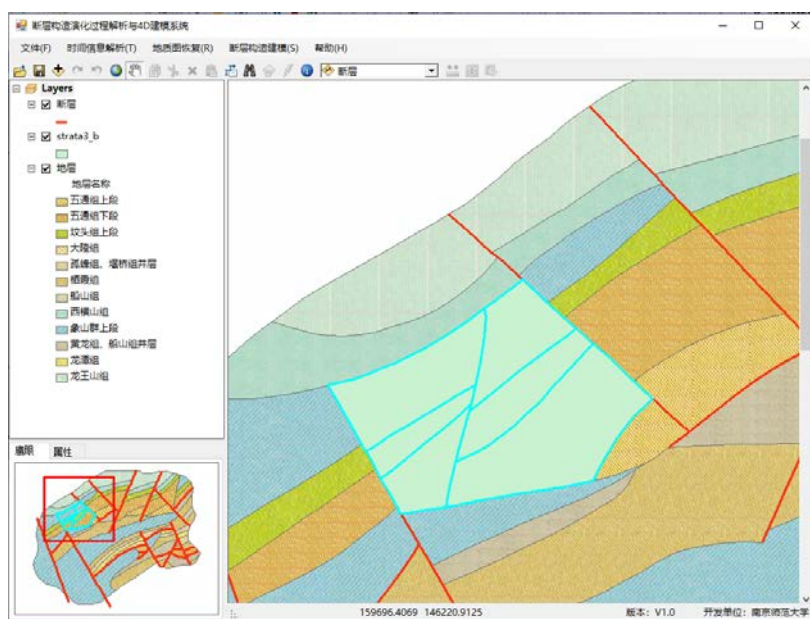


图 5.13 盘体地层提取完成界面

### 5.4.3.地层界线分段

地层界线分段的具体步骤如下：

(1) 点击 **地质图恢复(R)** 菜单，点击 **地质界线分段** 菜单，弹出地质界线分段界面；

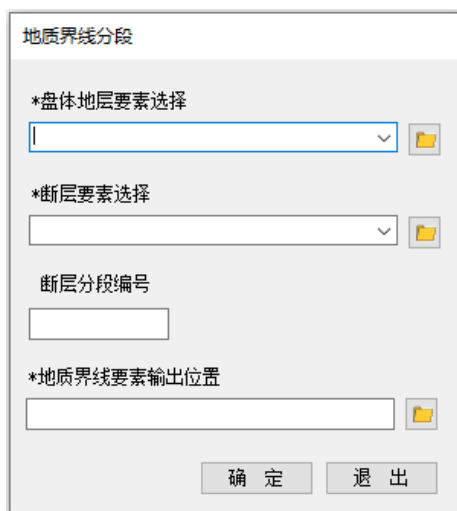





图 5.14 地层界线分段界面

(2) 选择盘体地层要素选择下方的下拉框或者点击  加载上一步生成的盘体地层要素，选择断层要素选择下方的下拉框或者点击  读取断层要素，设置该盘体对应的的断层分段编号，点击地质界线要素输出路径下方的  按钮设置地质界线输出路径；

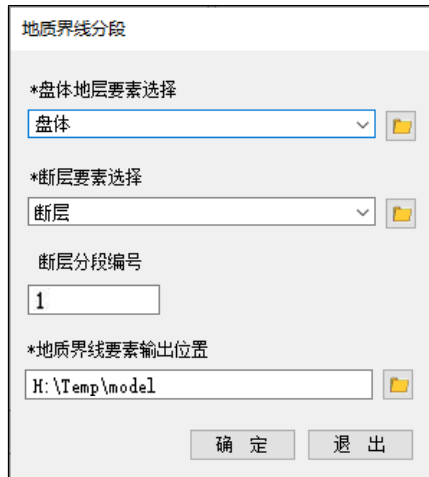


图 5.15 地质界线分段参数设置

(3) 点击 **确定** 按钮，完成地层界线分段。并将分段数据添加至工作栏。

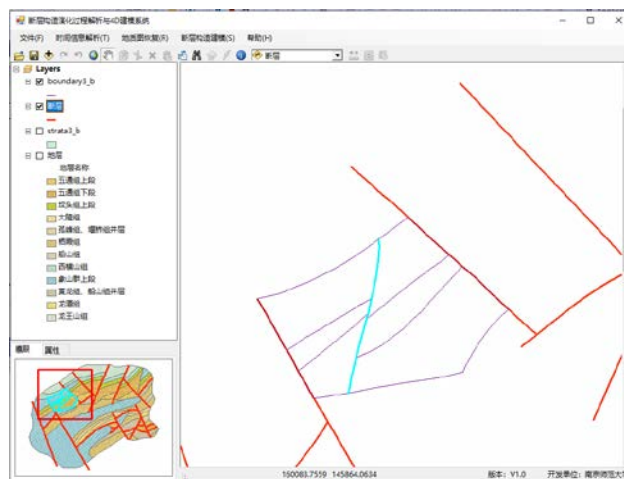


图 5.16 地层界线分段完成界面

(4) 完成地质界线提取后，需在 GIS 软件中，人工将地质界线与断层重合的部分去除，得到如图所示地质界线，方可进行下一步地层面恢复操作；

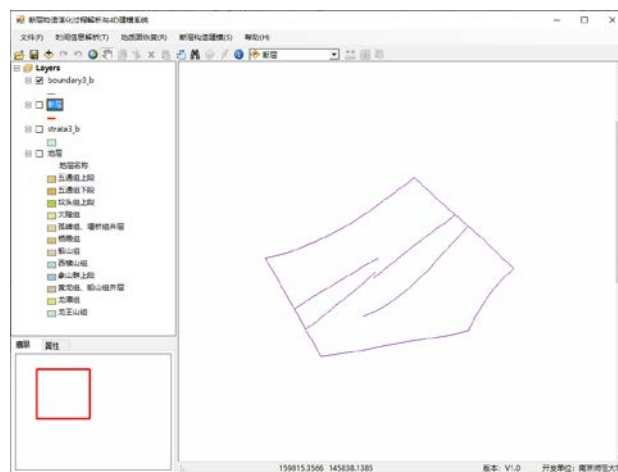


图 5.17 人工剔除断层线结果

(5) 提取得到的地层界线包含下表所示字段：



表 5.4 提取得到的地层界线字段表

字段	类型	说明	备注
Id	整型	地层界线 Id	从 0 开始递增
dip	浮点型	所属地层的倾角	0-90
strike	浮点型	所属地层的走向	0-360
incli	浮点型	所属地层的倾向	0-360
name	文本型	所属地层的名称	
Shape_leng	浮点型	地质界线长度	>0
f1	枚举型	地质界线与断层的 相对位置标志	0 表示在断层左侧 1 表示在断层右侧
f2	枚举型	是否需要进行地层 界线恢复的标志	0 表示需要恢复 1 表示不需要恢复
f3	整数型	某一侧盘体中，地 层界线的排列次序	从 0 开始递增

5.4.4.地层面恢复

对于断层盘体中缺失地层、侵入岩体以及地层恢复后断层发育处的地质边界不够自然的情况还需要人工手动调整。地层面恢复的具体步骤包括：

（1）将提取好的盘体地层要素、地层界线要素和断层线要素添加到当前视图，如下图所示，数据不完整或不符合要求则无法正确恢复地层要素；

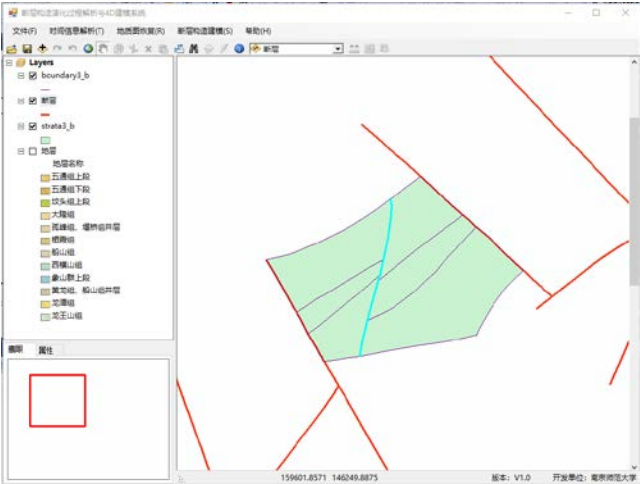


图 5.18 地层面恢复的数据准备视图

(2) 点击 **地质图恢复(R)** 菜单，点击 **地层面恢复** 菜单，弹出地层面恢复界面；

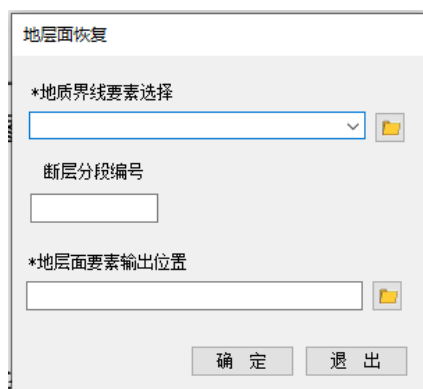




图 5.19 地层界线分段界面

(2) 选择地层界线要素选择下方的下拉框或者点击  读取生成的地层界线要素，设置该盘体对应的的断层分段编号，点击地层面素输出路径下方的  按钮设置地层面输出路径；

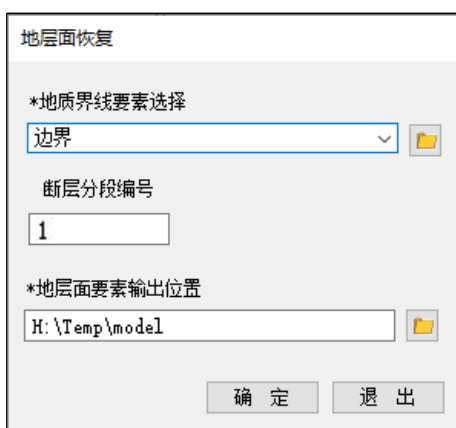


图 5.20 地质界线分段参数设置

(3) 点击 **确定** 按钮，完地层面恢复，恢复完成的地层面结果如图所示；

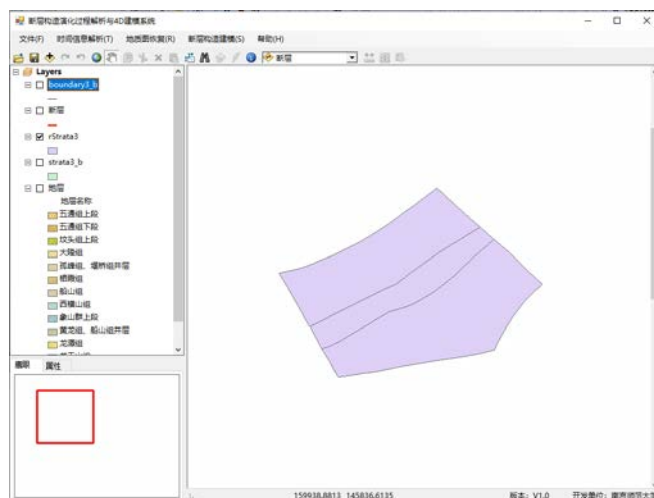


图 5.21 地层面恢复恢复结果

(4) 用户需根据地质学认知对以下情况，进行认为修正：①断层盘体中缺失地层、侵

入岩体，导致地层恢复形态不自然的；②地层恢复后断层发育处的地质边界不够自然的；③多处断层恢复结果合并时，地层边界冲突的。

## 5.5. 断层构造三维建模

### 5.5.1.数据准备

- （1）断层线数据，具体要求与 5.3.1 所描述断层数据要求一致；
- （2）地层面要素，具体要求与 5.3.1 所描述地层数据要求一致；
- （3）地层边界线要素，esri shapefile 格式，包含下表所列字段：

表 5.5 断层构造建模所需的地层边界字段表

字段	类型	说明	备注
Id	整型	地层界线 Id	从 0 开始递增
dip	浮点型	所属地层的倾角	0-90
strike	浮点型	所属地层的走向	0-360
incli	浮点型	所属地层的倾向	0-360
name	文本型	所属地层的名称	
stra1	整型	根据左手定则，地层界线左侧地层的编号	缺少该地层则为-1
stra2	整型	根据左手定则，地层界线右侧地层的编号	缺少该地层则为-1

### 5.5.2.基岩地层三维建模

基岩地层三维建模地具体步骤如下

- （1）将建模区域的地层面矢量数据、地层界线矢量数据和基岩面 DEM 栅格数据加载至工作栏；

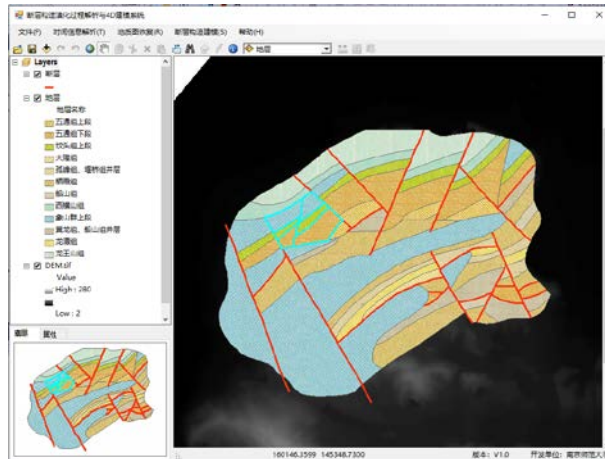


图 5.22 基岩地层三维建模数据准备

(2) 点击 **断层构造建模(S)** 菜单，点击 **基岩地层三维建模** 子菜单，弹出基岩地层三维建模窗口；



(3) 在基岩地层三维建模窗口中，点击地层面要素的下拉框选择地层面要素或点击  按钮浏览并选择地层面矢量文件，点击地层界线的下拉框选择地层界线要素或点击  按钮浏览并选择地层界线矢量文件，选择基岩面 DEM，设置模型输出路径，设置地质界线加密间隔、上表面采样间隔和推演底界高程（默认值分别为 30 米、30 米和-100 米）；



图 5.23 基岩地层三维建模窗口及参数设置

(4) 根据用户的喜好勾选 ☒ 完成后打开模型文件夹，点击 **确定** 按钮，等待建模完成；

(5) 在三维渲染软件中，查看构建完成的模型，并添加材质和纹理。

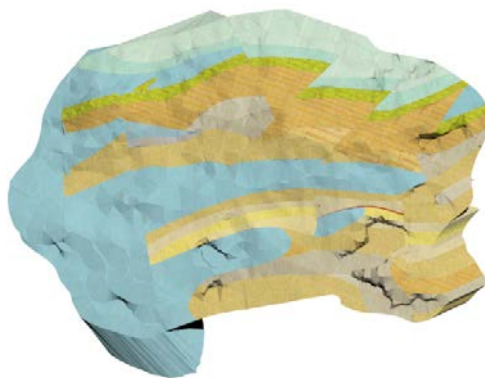


图 5.24 渲染后的三维模型示例

### 5.5.3.基岩断层三维建模

基岩地层三维建模地具体步骤如下

- (1) 将建模区域的断层线矢量数据和基岩面 DEM 栅格数据加载至工作区；

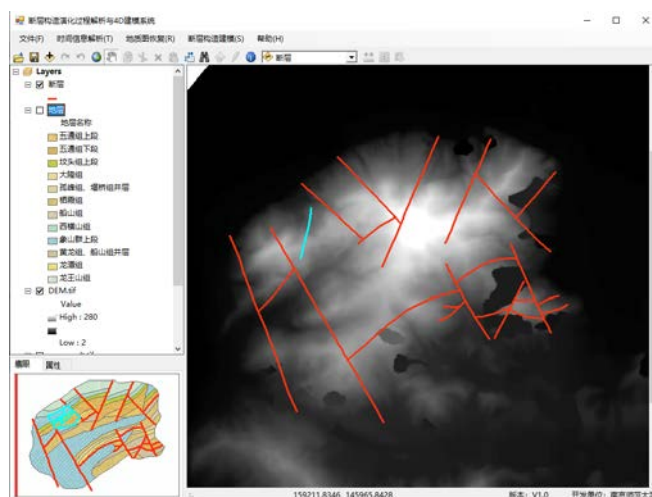


图 5.25 基岩断层三维建模数据准备


- (2) 点击 **断层构造建模(S)** 菜单，点击 **断层面三维建模** 子菜单，弹出基岩断层三维建模窗口；
- (3) 在基岩断层三维建模窗口中，点击地层面要素的下拉框选择断层线要素或点击  按钮浏览并选择断层线矢量文件，选择基岩面 DEM，设置模型输出路径，设置断层线加密间隔和推演底界高程（默认值分别为 30 米和-100 米）；



图 5.26 基岩断层三维建模界面与参数设置

- (4) 根据用户的喜好勾选 ☒ 完成后打开模型文件夹，点击 **确定** 按钮，等待建模完成；
- (5) 在三维渲染软件中，查看构建完成的模型，并添加材质和纹理。



图 5.27 渲染后的断层面三维模型示例

## 5.6. 帮助

### 5.6.1. 帮助文档

点击菜单栏“帮助”一>“帮助文档”即可打开《断层构造演化过程解析与 4D 建模系统 V1.0 用户手册》。

### 5.6.2. 关于

点击菜单栏“帮助”一>“关于”，可以查看本系统的名称、版本号、开发单位、开发时间、开发人员以及警告等信息。



图 5.28 关于界面