

高精度地形图的 Matlab 与 GMT 联合开发研究^①

苏鹤军^{1,2}, 张 慧^{1,2}, 李晨桦^{1,2}, 周慧玲¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局地震预测研究所兰州创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:高精度地形图解译能够给出大量地质信息,用 GMT 软件绘制高精度地形图是地学研究者从事研究、成果交流与发表高质量论文的必要手段,但目前的地形数据格式不能直接应用,因此搭建一个平台,使其视窗化是一个亟待解决的问题。本文基于 Matlab 开发了 GMT 视窗化平台,为广大科研人员提供帮助。

关键词: GMT; Matlab; 数字高程模型 (DEM)

中图分类号: P227 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2015)增刊 2-0223-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.增刊 2.0223

Combined Use of Matlab and GMT Software to Draw High-accuracy Topographic Maps

SU He-jun^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}, LI Chen-hua^{1,2}, ZHOU Hui-ling¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou, 730000, Gansu, China)

Abstract: The digital elevation model (DEM) is a new technology, which developed rapidly in recent years. It is widely applied in the surveying and mapping. Terrain analysis related to elevation using DEM is the main means of tectonic-activity and Neotectonic research. The analysis of geomorphological attributes can effectively provide important information on the geological structure and its evolution. Currently, there are many software applications that can be used to draw DEM topographic map, such as Mopsis, DEM, Global mapper, Arcgis, Surge with Topo Plug-in. In many cases, these applications are used to complete map drawing and data analysis. However, these methods are deficient, when referring to new methods and innovative ideas. GMT is an outstanding common drawing software application that is widely used by many customers. It can produce beautiful graphics and has a flexible organization, while offering powerful data processing and analysis capabilities. The user can customize the maps for analysis according to their own research ideas and better display the results. It is a great professional drawing software and the ideal choice for high quality. In recent years, many researchers tried to solve specific GMT problems, such as GMT Chinese characters display function realization, special data input, and GMT interface visual operation. In this paper, we choose Matlab for visualization of GMT data processing and the command input to separate the GMT from the text command pattern and achieve simple operation and flexible application. This approach offers very important applications for many geological researchers and can help the users to improve the ability to display high-quality research

① 收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 甘肃省科技计划资助(1308RJZA275); 中国地震局地震预测研究所基本科研业务基金(2013IESLZ04)

作者简介: 苏鹤军(1973-), 男, 甘肃通渭人, 高级工程师, 硕士, 主要从事地震地下流体和地震预报研究。

E-mail: suhejun@126.com.

通信作者: 张 慧(1966-), 女(汉族), 博士, 研究员, 主要从事地下流体与活动构造应用研究。E-mail: zhanghui@gssb.gov.cn.

results.

Key words: GMT; Matlab; DEM

0 引言

数字高程模型(DEM)是近年来快速发展起来的一门新技术,在测绘、水文、气象、地貌、地质、军事、人文和自然科学等领域有着广泛应用^[1-5]。利用DEM进行与高程有关的地形分析是活动构造、新构造研究的主要手段和方法。通过对地貌形态相关属性的分析,能够有效提取与地质构造及其活动演化有关的重要信息,是地球物理及地球化学探测数据异常解译的重要依据。ASTER GDEM是以高分辨率覆盖地球所有陆地表面的唯一数字高程模型,是目前应用较广、精度较高的全球高程数据来源。

目前能够绘制GDEM地形图的软件较多,如Maphis、3DEM、Global Mapper、ArcGIS、Surge及Topo插件等。对于大多数人来说,这些软件均能够完成相应的制图与数据分析等工作要求,但对于某一专业性较强的问题,特别是在解决一些新方法时,需要融入研究者的创新思路和体现整个研究过程,这些软件就显得有些能力不足。GMT是一款优秀的通用绘图软件,它不仅具有图形美观、组织灵活、移植性强等特点,而且还具有强大的数据处理与分析功能,用户可根据自己的研究思路,灵活组织定制图件,较好地展示研究思路及成果,是高质量论文图件绘制的理想选择^[6-8]。然而GMT本身也存在一些缺点,如缺乏汉字显示功能、数据输入格式相对固定、要求在指令模式下运行等,这给普通用户特别是中文用户的使用带来了一定困难。

近年来作者在从事地质相关专业研究中,结合具体工作需求,着力解决GMT软件在推广应用过程中经常遇见的一些具体问题,如在《GMT绘图软件汉字库配置技术应用研究》中解决了GMT汉字显示的问题^[9],而在本文中拟主要解决GMT的可视化操作等问题。利用Matlab平台进行GMT开发,能够充分发挥各自的优缺点,如GMT命令的编写在文本编辑器中进行,每一函数具有特有的固定规范格式,需要设置大量参数,而这些参数没有进行视窗化,这对普通用户来说应用比较困难,但Matlab的GUI可以轻易完成类似工作。另外GMT对数据预处理相对麻烦,有时需要GAWK及GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)等辅助程序进行读写或转换,如GDAL空间数据转换还需Microsoft Visual Studio的支持和linux系统环境,这

给大多数Windows系统用户带来了不便,而Matlab在数据读写与整理方面具有独有的优势。因此,本文选择Matlab平台对GMT软件实现数据处理及命令输入的可视化,使GMT脱离文本指令模式^[10],达到操作简单、应用灵活的目的,这对广大地质工作者来说具有非常重要的应用价值。

本文主要通过高精度地形图的绘制方法,演示如何利用Matlab平台进行GMT软件可视化开发的技术与思路,介绍高程数据输入、GMT命令的可视化实现和高程数据分析结果的定制过程,并以一个具体实例,以期帮助广大用户提高展示研究成果的能力。

1 GMT软件概述

GMT是由哥伦比亚大学的Wessel及Smith于1987年在ANSI C程序语言基础之上开发的一款通用绘图软件,已先后发布多个版本,最新版本为2014年3月发布的GMT5.0。它重点解决了软件的安装移植问题,并新增一些函数(Gmt、gmt2kml、gmtconnect、gmtget、gmtinfo等),添加了新选项(-a、-b、-i、-n、-o、-p、-t等),修改了部分公有选项参数(-B、-R等)以及一些有关颜色、线型、外框、字体属性等的新默认参数。GMT5.0的这些改进大大增强了软件的数据预处理能力,简化了相应参数的设置过程,较大程度地提升了软件的推广应用能力。然而,由于该软件过度强调用户自制图形的灵活性,有意设置在指令模式下执行,直至目前还没有实现视窗化操作,这在较大程度上阻碍了GMT的大范围推广应用,因此利用Matlab平台对GMT软件进行可视化开发显得很有必要。

2 基于Matlab平台的GMT实现

利用Matlab平台进行GMT软件开发的实质是将复杂的GMT命令用Matlab的GUI工具进行视窗化,达到操作简单、应用灵活的目的。GMT绘图是把多个函数行编写成批处理文本文件进行的,每个函数均有一个相当复杂的配置过程,对普通用户来说其规范不便于记忆书写。如何使这部分工作变得简单并视窗化,Matlab的GUI能够发挥自己的优势,即通过GUI界面设计,将一些参数选择项进行视窗化后,用户可以方便地进行参数值设置;这些设置好参数值的GMT命令在Matlab下按GMT

语法规则打印成文本文件,再打包处理成 bat 批处理文件,并直接在 Matlab 平台下运行,这是利用 Matlab 平台进行 GMT 软件联合开发的基本思想。Matlab 开发 GMT 过程主要包括两大部分:一是数据输入及转换过程,二是命令参数设置过程。其中前者着重解决不同用户工作数据及地理信息数据的规范处理及格式转换,主要借助 Matlab 强大的数据处理功能,后者是 GMT 命令及其参数的视窗化处理,主要借助 Matlab 的 GUI 界面设置功能(图 1)。

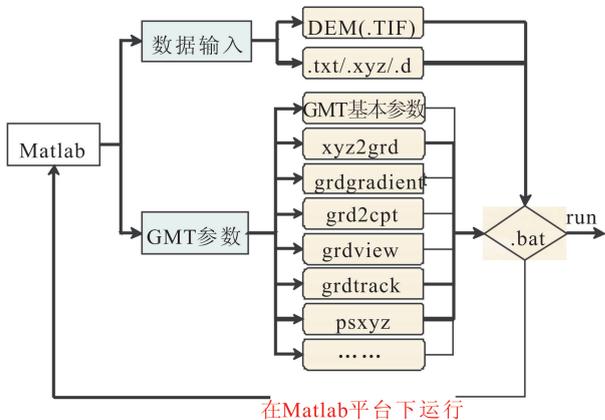


图 1 基于 Matlab 的 GMT 软件开发技术路线示意图

Fig.1 The technical route diagram of development of GMT software based on Matlab

根据图 1 的技术思路,在 Matlab GUI 中完成如图 2 所示的操作主界面。该界面主要由菜单及静态文本框、列表框、可编辑文本、面板等控件组成,各控件的功能通过相应回调函数实现,其中数据输入功能由“数据管理”菜单完成,函数参数配制功能主要由“GMT 函数”菜单完成,基本参数设置功能由“基本参数设置”框完成。为方便自查语法书写错误,界面设置了三个文本显示框:格式说明、基本参数设置和 bat 文本。其中“格式说明框”用来帮助用户查看选项参数的 GMT 标准格式,“基本参数设置”框用来设置纸张、图框、坐标等基本绘图参数,而“bat 文本”框用来显示设置好的 GMT 函数命令行及其参数值。

2.1 数据的输入

数据输入是利用 Matlab 平台进行 GMT 软件联合开发的重点内容(图 1)。GMT 数据输入需要相对固定的格式(包括变量排序、数据类型等),而 Matlab 对数据处理具有独特优势,用户可根据 GMT 数据格式的要求在 Matlab 平台下对工作数据进行变量抽取、排序、交换等预处理,使其最终符

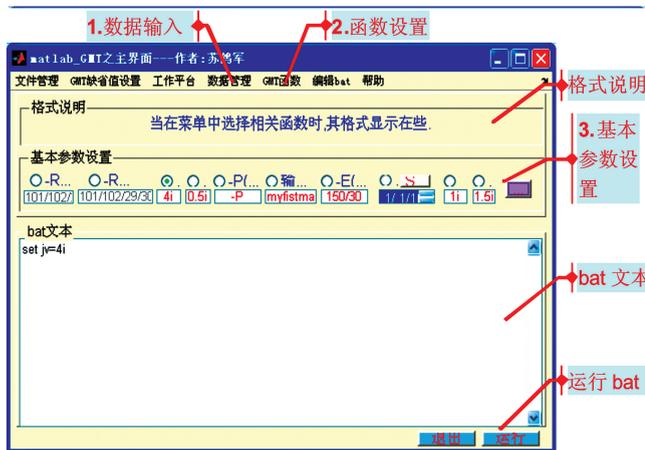


图 2 Matlab 视窗化 GMT 主界面

Fig.2 Visualization of GMT main interface using Matlab main GUI

合 GMT 函数格式规范。

2.1.1 ASTER GDEM 数据

ASTER GDEM 全球数字高程模型由日本经济产业和美国国家航空航天局联合开发制作,是以高分辨率覆盖地球所有陆地表面的唯一数字高程模型。自 2009 年 1 月推出以来被广泛使用,但该数据不能被 GMT 直接应用,通常需要 Global Mapper、GDAL 等其他软件进行转换,并需要 VC 支持,对普通用户来说相当麻烦,而 Matlab 中 map 工具包的相应函数可以方便地做到这一点,从而大大提高工作效率。对于 ASTER 的.tif 格式高精度高程数据,Matlab 只用 geotiffread 命令可直接完成,格式为:

```
[A]=geotiffread(ASTGTM2_N40E098_dem.tif)
```

其中:ASTGTM2_N40E098_dem.tif 为高精度高程数据文件名,表示 40°-41° N,98°-99° E 的范围;A 为 3601×3601 的高程数据矩阵,对大于或跨越 1°网格范围的数据,需进行合并处理,通常需要由运行平台配置及 CPU 的大小决定 Matlab 的最大矩阵,对于范围较大的作图空间,应该对矩阵 A 进行较大步长的抽样处理,否则会出现运行超出内存的现象。该功能由图 2 的“数据管理”菜单调用 ASTER_GDEM_read 函数完成:

```
function ASTER_GDEM_read(varargin)
%用法:ASTER_GDEM_read(lon,lat)或 ASTER_GDEM_read(lon1,lon2,lat1,at2)
dn=1/3600;
if nargin == 2
```

```

[fname, pname] = uigetfile('*.tif','open the
date file');
    fullname= strcat(pname, fname);
    fid= fopen(fullname, 'rt');
    if(fid == -1)
        display('no file was selected'); re-
turn
    end
    strlat = str2num(fname(10:11)); strlon =
str2num(fname(13:15));
    lon0= strlon; lat0= strlat;
else
    lon01= varargin{1}; lon02= varargin{2};
    lat01= varargin{3}; lat02= varargin{4};
    strlon = floor(lon01): floor(lon02); strlat =
floor(lat01): floor(lat02);
end
    n= length(strlon); m= length(strlat);
    A= cell(m, n);
    if n.*m <= 9
        stepd= 1;
    elseif n.*m <= 20
        stepd= 2;
    else
        stepd= 3;
    end
    for i= 1: n
        for j= 1: m
            if length(num2str(strlon(i))) == 2
                str= ['0', num2str(strlon(i))];
            else
                str= num2str(strlon(i));
            end
            strname= {'ASTGMT2_N', num2str(strlat(j)),
'E', str, '_dem.tif'};
            [A1]= geotiffread(strname{:});
            A{j, i}= A1(1: stepd: end, 1: stepd: end);
        end
    end
end

```

2.1.2 地信标注与工作数据

在实际工作中为了提高研究结果的显示度,经常需要加注一些如工作点位、测量剖面、行政边界线与居民点等必要的地理信息,还可以通过高精度高程数据提取与地形相关的地质构造信息。通常我们

容易获得的这些地信数据为.shp 格式或.mif 格式的二维数据(可直接在 Mapsis 中获取),在应用之前一般需要进行内容筛选、格式转换及剖面高程数据的抽取等工作。这部分工作在 Matlab 下完成相对于 GMT 简单、灵活,只需要 Matlab 的 textread、xlsread 和 shaperead 等一般函数即可(图 2“数据管理”子菜单),可大大提高编程效率。特别是 shaperead 函数与 GIS 数据的联系密切,是 GMT 通过 Matlab 调用地信数据的有效桥梁,对行政边界、断层等数据应用尤其方便,其应用格式: S = shaperead(filename),其中 S 为一个结构数据,包含 shp 文件的一些属性信息(坐标、边界、几何形态、数据类型等)。

2.2 GMT 函数参数配置

函数参数配置是利用 Matlab 进行 GMT 软件开发的关键。当 DEM 高程数据及工作数据输入成功后, Matlab 接着要完成的任务是 GMT 命令函数及其配置参数的可视化输入,主要包括基本参数设置与作图函数参数设置(图 1)。

2.2.1 基本参数设置

基本参数包括绘图纸面的大小(-J)、方向(-P 或-E)、边框的大小(-R)、标尺标注(-B)及坐标位置变化(-X,-Y),输入 bat 文件名称等。这些变量在相应的文本框中,用户可根据工作需要输入或选择,对 GMT 不太熟练的用户可以直接进行默认值操作。基本参数的设置通过主界面的“基本参数设置”框完成(图 2),当在基本参数框中选择其中某一参数时,在格式说明框中会显示相应标准格式说明,用户可参照进行逐一设置。当一个参数值选择或输入后,点击基本参数设置框中的“确定”,相应设置便在“bat 文件框”中显示,较大程度地方便了用户使用。如选择-J 后,在相应文本框中输入 4i,然后按确定按钮便在显示命令框中显示 set jv=4i,在后面的 GMT 函数中可用 %jv% 直接调用 jv 变量。其他参数设置过程类似。

2.2.2 函数参数设置

复杂多变的 GMT 函数参数可通过 Matlab 的 GUI 进行可视化处理。如绘制一个高精度地形图,需要应用到的 GMT 函数有 xyz2grd、grdgradient、grd2cpt 和 grdwiew(图 1)。每一个函数参数设置可通过一个独立的 GUI 界面完成,并在主界面的“GMT 函数”菜单中调用。如 set_gmt5_grdgradient 设置窗口(图 3),该界面分为格式说明、必选项、自选项及结果预览四个分区框,用户可主要根据格

式说明框中对相应函数标准格式的说明定制自己的工作内容。如 GMT 中 `gdgradient` 命令的规定参数选项为:

```
gdgradient ingrdfile -Goutgrdfile [-Aazim[/azim2]][-D[c][o][n]][-E[s|p]azim/elev[/ambient/diffuse/specular/shine]][-Lflag ][-N[e][t][amp][[/sigma[/offset]]] [-R[unit]xmin/xmax/ymin/ymax[r]][-Sslopefile][-V[level]][-fg][-n[b|c|l|n][+a][+bBC][+tthreshold]]
```

其中,不在方括号内的选项是必选项,方括号内选项表示可选项,小写字母表示通用选项,程序运行时将自动在格式说明框中显示,帮助用户进行选择输入定制选项。当在自选项中勾选某些选项时,按“确定”后在“结果预览”框中便有相应参数值显示出来, `gdgradient` 函数设置完成,再按“下一步”, `gdgradient` 函数便打印在图 2“显示命令”栏的 bat 文件中。其他 `xyz2grd`、`gd2cpt` 和 `gdview` 函数参数的设置过程与 `gdgradient` 类似,其函数分别为 `set_gmt5_xyz2grd`、`set_gmt5_gd2cpt` 和 `set_gmt5_gdview`。

3 实例分析

在隐伏断层野外探测工作中,地球化学方法和地球物理方法的测量数据通常受覆盖层及地表地形及结构的影响,因此进行剖面地形数据的详细分析是必要的,通过对测量数据的地形校正,可进一步提取异常并得到更趋于合理的解释。下面通过高精度地形图绘制及异常分析两个方面,演示如何在实际工作中定制相关图件和体现研究思想。

3.1 高精度地形图绘制

含有断层、行政及测量位置等信息的高精度地形图是介绍工作场地构造背景的必要图件。高精度数字高程数据来自 <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/download.jsp>。本例的工作范围为 98.3198/98.903/39.3661/39.7838,因此下载的数据文件为 `ASTGTM2_N39E098_dem.tif`,并在 Matlab 环境中用 `shaperead` 函数读入,生成 `temdata.xyz` 文件便于 GMT 的 `xyz2grd` 函数引用(见图 2“数据管理”菜单)。GMT 绘制高精度地形图的过程包括基本参数设置、GRD 数据转换、梯度计算、颜色分配、地信数据加注及三维成图几部分,在图 2“GMT 函数”菜单中,依次调用 `gui_read_astergdem`, `set_gmt5_xyz2grd`, `set_gmt5_gdgradient`, `set_gmt5_gd2cpt`, `set_gmt5_gdview` 等函数,并逐一进行设置,最后生成的 bat 文件的内容如下:

```
REM ;Example.bat
REM 设置基本参数.....
set rv2d=98.3198/98.903/39.3661/39.7838
set rv3d = 98.3198/98.903/39.3661/39.7838/600/4500
set jv=4i jzv=0.5i pv=-P namev= Example.
ps ev=150/30 bv=.1/.1/1000SEwnz xv=1i
xv=1i yv=1.5i
REM 高程数据作图.....
gmt xyz2grd temdata.xyz -Ga.grd -Ils -R%rv2d%
gmt gdgradient a.grd -Gtsaoling-gmt.int.grd-A0/145 -Ne1
gmt gd2cpt a.grd -Crainbow -Z >tsaoling1.cpt
gmt gdview a.grd -JM%jv% -JZ%jzv% -B%bv% -p150/30 -R%rv3d%
-Ctsaoling1.cpt -Itsaoing_gmt.int.grd -N599 +g200/200/200 -Qs -X% xv% -Y% yv% -K >%
```

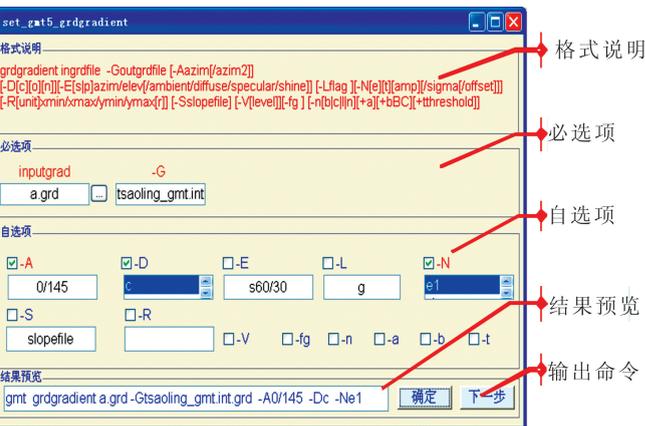


图 3 Matlab 视窗化 GMT 函数过程实例 (`gdgradient` 函数)

Fig.3 Process instance visualization of a function of GMT in Matlab (`gdgradient`)

2.3 打印 GMT 函数到 bat 文件

当所需基本参数和函数参数设置完成后,其结果都显示在图 2 的“bat 文本”框中,按“运行”按钮,“bat 文本”框中内容便打印到工作目录下的临时 .bat 文件中(文件名在基本参数设置中进行),同时自动运行 bat 文件并生成图件。具体实现过程为:用 `get` 命令获取“bat 文本”控件的 `string` 值,再利用 `fprintf` 函数将 `string` 直接打印到 bat 文本文件中,并执行 `doc(' .bat')` 函数。

```

namev%
REM 绘制测线位置.....
gmt grdtrack jiuquan.txt -Ga.grd >track.xyz
gmt psxyz track.xyz -JM% jv% -JZ% jzv% -
R% rv3d% -p150/30 -Sd0.2i
-Wthin,gray,a -Gred -O -K>>%namev%
REM 绘制区域断层.....
gmt grdtrack jiuquanfault.txt -Ga.grd >track.
xyz
gmt psxyz track.xyz -JM% jv% -JZ% jzv% -
R% rv3d% -p150/30 -Ctsaoling1.cpt -Wthin,
white,a -O -K>>%namev%
REM 标注行政位置.....
gmt grdtrack city_location.txt -Ga.grd >
track.xyz
gmt psxyz track.xyz -JM% jv% -JZ% jzv% -
R% rv3d% -p150/30 -Sc0.1i -Gred -Wthin,white,a
-O -K>>%namev%
REM 绘制场地位置.....
gmt grdtrack region.txt -Ga.grd >track.xyz
gmt psxyz track.xyz -JM% jv% -JZ% jzv% -
R% rv3d% -p150/30 -Wthinest
-GP300/26;FtanBdarkbrown -Ctsaoling1.cpt -
O -K>>%namev%
REM 标注行政.....
gmt ptext jiuquan_name.txt -JM% jv% -JZ%
jzv% -R% rv3d% -p150/30
-F+f14p,62+jLm -O -K>>%namev%
REM 标注场地.....
gmt ptext gongchenchangdi_name.txt -JM%
jv% -JZ% jzv% -R% rv3d% -p150/30
-F+f13p,49,white+jCB -O -K>>%
namev%
REM 标注断层.....
gmt ptext qilianfault_name.txt -JM% jv% -
JZ% jzv% -R% rv3d% -p150/30 -F+a-26+f14p,
61,white+jCB -O >>%namev%

```

当 Example.bat 在图 2 的“命令显示”框中生成后,运行可生成如图 4 所示的结果。图 4 是介绍场地位置及其构造背景的重要图件。

3.2 异常分析

接下来分析剖面高程与测量值之间的关系。首先需获取剖面高程数据,主要用 grdrack 函数和剖面测点数据,然后用 psxy 进行曲线绘制,相应视窗

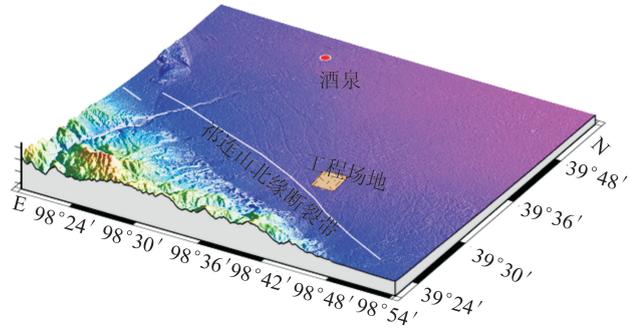


图 4 高精度高程地形图实例

Fig.4 The example of high-accuracy elevation map

化函数为 set_gmt5_grdtrack 和 set_gmt5_psxy。本例将氡浓度变化曲线及其窗长为 8 的高斯滤波曲线以及剖面高程变化曲线绘制在同一图中,方便比较分析。

```

gmt grdtrack ht1stend2.txt -Ga.grd > track_
HT1.xyz %%获取剖面高程数据

```

```

gmt psxy -R1/80/1556/1570 -JX4i/2i my2.txt
-B5f:"number":/5f:"Hight(m)":SW -K -Wthin-
ner,green -X1.5i -Y1.5i -P>paomian.ps %%绘制
剖面高程变化曲线

```

```

gmt psxy -R1/80/0/8500 -JX4i/2i HT1-1.txt
-B5f:"number":/2000f:"Bq/m@+3":NE -O -K -
Wthinner,red >>paomian.ps%%绘制剖面氡浓度
变化曲线

```

```

gmt filter1d HT1-1.txt -FG8 -T1/80/8 -E >
w_filter_trend.txt %%高斯滤波,窗口宽度为 8gmt
psxy w_filter_trend.txt -R1/80/0/8500 -J -Wthin,
blue,-O >> paomian.ps %%绘制氡浓度高斯滤
波曲线。

```

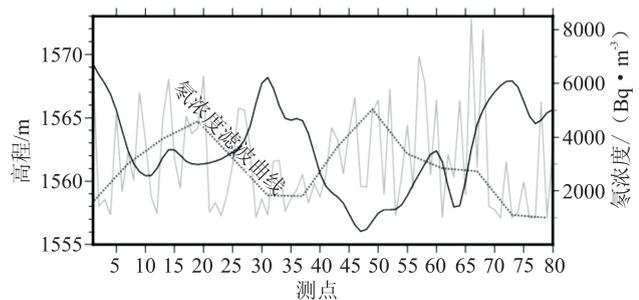


图 5 剖面高程与氡浓度值曲线对比分析

Fig.5 Comparative analysis of profile elevation and radon concentration curve

通过图 5 可以清楚地看到氡浓度与地表地形呈负相关,即地表覆盖层厚度直接影响氡浓度值的大

小,表明没有构造成因异常。

4 结语

高精度地形数据的深入挖掘是地学研究极其有用的手段,它不仅可以有效展示研究成果,而且是获取更多构造活动信息的有效途径。本文以地球化学探测氡浓度异常解释过程为例,演示了如何定制或应用高精度高程地形图的技术思路与方法,起到抛砖引玉的效果。在实际工作中还可以进一步进行地形坡度、梯度及水系断点等参数分析,对古气候特征和地质构造的成因及演化过程进行深入分析。

作者最近完成了基于 Matlab 的 GMT 软件 Matlab-GMT 的开发,本文只是其中一个地形图绘制模块,其他 GMT 函数模块也继承该技术思路进行了视窗化开发。Matlab-GMT 较好地实现了 GMT 绝大部分功能,使其成为真正意义上的通用绘图工具。由于篇幅有限,文中没有具体叙述 Matlab 程序,仅对关键问题的部分程序进行了解释,如对 Matlab-GMT 有兴趣可直接与作者联系。

参考文献

- [1] 徐拥军,廖婷.基于 Google Earth 的高程图制作方法[J].中国西部科技,2010,9(11):29-31.
- [2] Bolstad P V,Stowe T.An Evaluation of DEM Accuracy:Elevation,Slope, and Aspect[J].Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,1994,60(11):1327-1332.
- [3] 陈述彭.空间数据挖掘的里程碑式力作——评《空间数据挖掘理论与应用》[J].科学通报,2007,52(21):2577.
- [4] 陈燕,汤国安,齐清文.不同空间尺度 DEM 坡度转换图谱分析[J].华侨大学学报,2005,25(1):79-82.
- [5] 陈秋晓,陈述彭,周成虎.基于局域同质性梯度的遥感图像分割方法及其评价[J].遥感学报,2006,10(3):354-365.
- [6] 苏鹤军,张慧,李晨桦,等.西秦岭北缘断裂带断层气浓度空间分布特征与强震危险性分析[J].地震工程学报,2013,35(3):671-676.
- [7] 伍剑波,张慧,苏鹤军,等.基于 Matlab 的断裂带温泉水地球化学特征及地震活动性研究[J].地震工程学报,2013,35(2):354-359.
- [8] 李晨桦,张慧,张昱,等.岷县漳县 6.6 级地震后申都乡地窖宏观异常现象及其机理探讨[J].地震工程学报,2013,35(4):834-838.
- [9] 苏鹤军,张慧,李晨桦,等.GMT 绘图软件汉字库配置技术应用研究[J].地震工程学报,2013,35(4):929-937.
- [10] 刘良玉,李刚,康凯.基于 matlab 的嵌入式系统软件开发[J].天津大学学报,2008,41(5):593-596.