

doi: 10.11720/wtyht.2021.1454

孟军海, 马龙, 王金海, 等. 重力数据在德令哈地区区域性综合解释中的开发应用研究[J]. 物探与化探, 2021, 45(2): 369-378. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1454>

Meng J H, Ma L, Wang J H, et al. The development and application of gravity data in regional comprehensive interpretation of Delingha region[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2): 369-378. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1454>

重力数据在德令哈地区区域性综合解释中的 开发应用研究

孟军海¹, 马龙¹, 王金海¹, 赵丽萍¹, 王丽君¹, 付强², 童明慧¹

(1. 青海省第三地质勘查院, 青海 西宁 810029; 2. 中国科学院 青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室, 北京 100101)

摘要: 基于德令哈地区最新 1:25 万重力数据, 结合相关已知资料, 进行了重力异常新提取和反演解释, 研究表明, 德令哈地区现今的重力异常特征能够反映基底构造。本文通过小波断裂分析方法, 解释了 14 条区域性断裂构造, 通过帕克法密度界面反演计算, 划分了德令哈地区“五凹三隆”基底结构, 明确了德令哈现今区域基底的隆凹格局, 推断了基底隆起凹陷起伏变化及深度, 并和部分前人认识成果做了归属及补充完善。笔者希望通过本次研究, 对后续德令哈地区特别是柴东盆地深部构造分析、成矿作用、油气资源预测等研究起到相应的指导意义。

关键词: 德令哈地区; 基底凹陷; 构造单元; 密度界面反演; 断裂解释

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2021)02-0369-10

0 引言

德令哈地区地处祁连造山带与柴北缘造山带的接壤部位, 西南部跨柴达木盆地一隅, 即柴东盆地, 本文研究区为德令哈行政区(图 1)。研究区自古元古代以来, 经历了多期构造运动及海陆变迁, 由此发育有丰富的沉积地层。从元古宙到中生代频繁的岩浆活动, 形成了各类侵入岩、火山岩及岩脉(图 2)。了解区域构造及深部地质结构, 对于研究、反演祁连造山带形成、演化, 特别是岩浆演化过程与成矿作用关系有重要意义。但是长期以来, 对德令哈地区的深部结构及构造研究较少, 其中南部柴东盆地相对丰富。但是柴东地区基本被第四系覆盖, 盆地基底岩石仅出露于欧龙布鲁克山、埃姆尼克山等山间隆起及其附近, 早期对柴东盆地也主要通过地球物理资料和野外地表断裂构造的分析进行认识, 缺乏充分的面积性资料, 前人对柴东盆地的研究主要在第

四纪沉积环境和构造作用等方面^[1-3]。相比而言, 对研究区构造格架、盆地构造发展、深部基底结构等还未开展深入研究。加上以往研究资料精度、处理解释方法受限等原因, 前人划分的基底凹陷结构等也参差不齐, 有的划分结果相差较大。

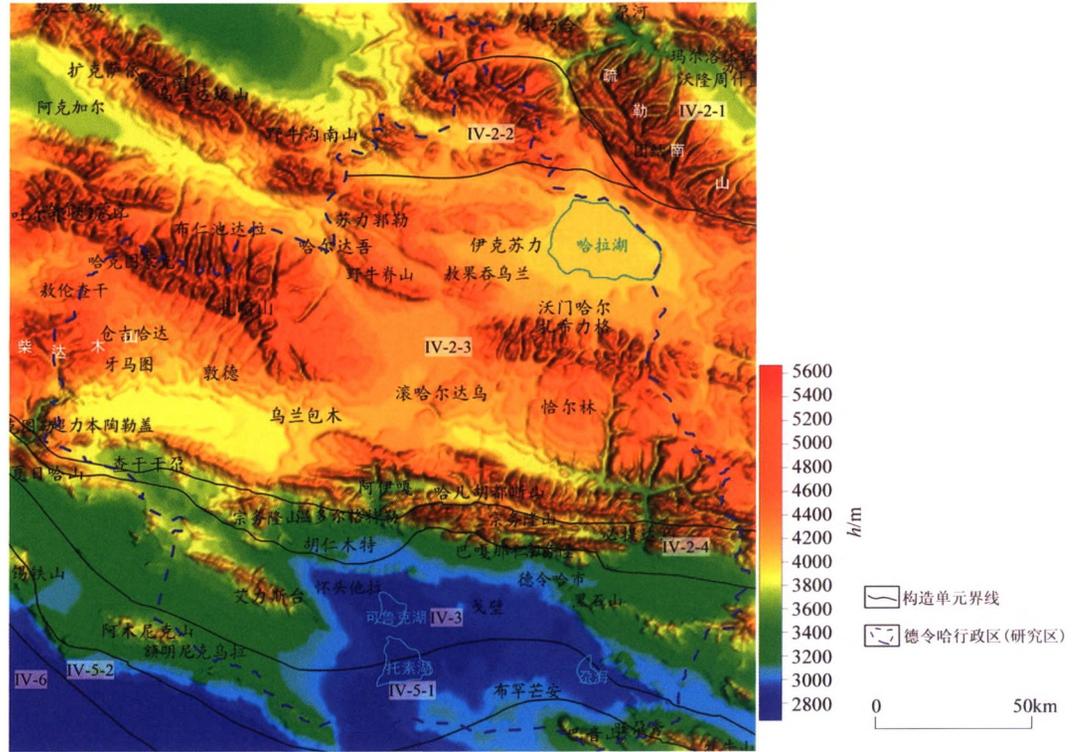
在柴东盆地成因方面先后有多种认识^[4-7]: 属于再生前陆盆地^[4-5]、属于背驮式盆地^[6]、属于大型向斜盆地^[7]。在凹陷结构划分方面, 王利等^[8]将德令哈地区划分为“三凹夹二隆”的格局: 欧南凹陷、德令哈凹陷、霍布逊凹陷、埃姆尼克隆起、欧龙布鲁克隆起。杜忠明等对柴东盆地从北向南依次划分为为宗务隆山隆起、德令哈凹陷、欧北凹陷、欧龙布鲁克山隆起、欧南凹陷、埃姆尼克山隆起以及霍布逊凹陷。甘贵元等^[9]又将德令哈凹陷划分为德南凹陷、中央背斜隆起带和欧南凹陷。

基底是盆地等区域性构造发展演化的基础, 基底的起伏控制着上覆沉积地层及区域构造的形态, 从而影响着油气、能源矿产的生成、运移及富集。所

收稿日期: 2020-09-17; 修回日期: 2020-11-20

基金项目: 青海学者专项“柴达木盆地及周缘战略性矿产成矿作用及找矿突破”(QHS201802); 青海省地质矿产勘查开发局 2018 年第二批地勘基金项目“青海省物探基础数据库建设及开发利用”

作者简介: 孟军海(1969-), 男, 物探高级工程师, 主要从事地球物理勘探技术应用研究及管理工作。Email: 435539647@qq.com



IV-2-1—中祁连岩浆弧(O-D₁); IV-2-2—党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带(O-S); IV-2-3—南祁连岩浆弧(O-D₁); IV-2-4—宗务隆山-夏河-甘加陆缘裂谷(O-P); IV-3—全吉地块; IV-5-1—滩洞山岩浆弧(O); IV-5-2—柴北缘蛇绿混杂岩带(ε-O); IV-6—柴达木盆地地块
 IV-2-1—middle Qilian magmatic arc(O-D₁); IV-2-2—Danghe Nanshan-Lajishan ophiolitic melange belt(O-S); IV-2-3—south Qilian magmatic arc(O-D₁); IV-2-4—Zongwulongshan-Xiahe-Ganjia continental margin rift(O-P); IV-3—Quanji block; IV-5-1—Tanjianshan magmatic arc(O); IV-5-2—northern Qaidam ophiolitic melange belt(ε-O); IV-6—Qaidam Basin block

图1 德令哈地区地形沙盘

Fig.1 Landscape image map of Delingha area

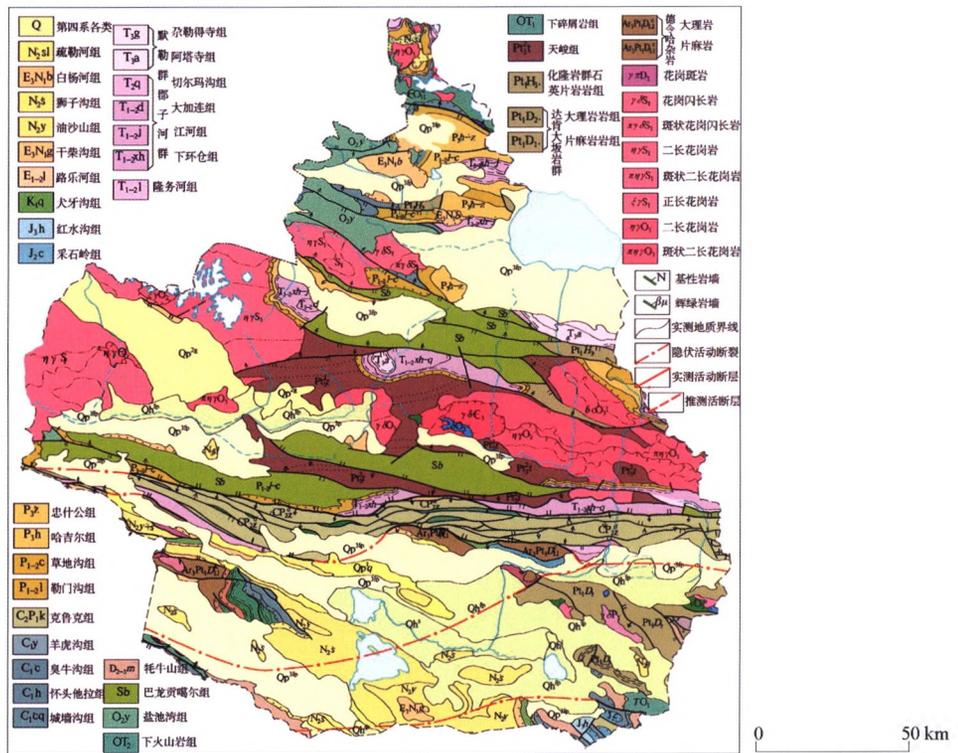


图2 德令哈地区地质

Fig.2 Geological map of Delingha area

以,界定区域性结晶基底特征,对于研究盆地等构造的形成与演化、资源的形成、运移、分布等都具有极为重要的理论意义和实际价值。本文研究的基底是以元古宇为主的古变质岩地层及侵入岩构成的结晶基底,基底深度为结晶基底顶界面深度。

区域性重磁数据具有覆盖广、横向分辨力高等优势,在盆地等区域性构造区划研究中发挥了重要作用^[10-19]。通过重力异常数据反演解释区域基底起伏特征时,准确提取基底起伏引起的重力异常至关重要。本文首先选取了合适的异常数据,以此为基底反演解释了区域基底起伏特征,补充完善了未知区基底特征,对比分析了前人已知成果。期望研

究结果对深部构造分析、盆地构造演化、成矿作用研究、油气资源预测等提供地球物理的指导意义。

1 重力异常特征

1.1 岩石密度特征

岩石、地层的密度特征是分析异常场源信息的重要前提,也是重力异常处理和解释重要过程,因此综合分析和总结研究区岩石、地层密度特征是进行重力异常处理与解释的前提和重要依据(表 1)。本文通过收集前人在研究区及邻区的物性研究成果,分析总结了研究区岩石、地层密度特征。

表 1 柴达木盆地东部岩石密度及磁性参数值^[13]

Table 1 The formation density statistical results in Eastern Qaidam Basin

地层	代号	样数	岩石密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$		磁化率/($10^{-5}SI$)	
			变化范围	平均值	变化范围	平均值
第四系	Q	585	1.02~2.17	1.74	3~302	63
新近系	N	441	2.00~2.38	2.31	9~194	33
古近系	E	192	2.23~2.61	2.48	3~18	8
白垩系	K		2.36~2.59	2.45	13~166	31
侏罗系	J	70	2.26~2.63	2.49	9~41	16
新近系	T	1034		2.64	1~1320	233
二叠系	P	32		2.64	3~11	8
石炭系	C	254	2.62~2.72	2.66	2~54	15
泥盆系	D	912	2.64~2.70	2.67	1~2522	551
志留系	S	35		2.65	13~27	21
奥陶系	O	728		2.67	5~5640	169
古元古界变质岩系		236	2.61~2.85	2.67	35~839	129
前震旦系	AnZ	1087	2.59~2.84	2.67	25~1888	478
火成岩类	酸性		2.54~2.75	2.64	6~114	20
	基性		2.62~2.87	2.75	31~5640	900

当上覆低密度地层越厚时,占据较多下伏高密度地层或岩体空间,容易造成盆地凹陷,物质的质量亏损引起低重力异常。当高密度老地层或高密度岩体上覆侵入,造成深部隆起构造,从而引起高重力异常。研究区侏罗系—第四系沉积盖层岩石密度在 $1.74 \sim 2.49 g/cm^3$ 之间变化,其平均值为 $2.27 g/cm^3$ 。新近系之前地层岩石密度在 $2.64 \sim 2.67 g/cm^3$ 之间,均值仅相差 $0.03 g/cm^3$,变化较小。火成岩类的岩石密度变化为 $2.54 \sim 2.87 g/cm^3$,平均密度值为 $2.66 g/cm^3$,它们与上覆地层岩石之间存在密度界面,其均值差为 $0.39 g/cm^3$ ^[13]。古元古界等变质岩系密度变化范围大,也具有较大的密度值,以此为基底的区域与上覆盖层存在密度界面。研究区总体上覆地层与盆地基底的密度差为 $0.39 \sim 1.11 g/cm^3$,存在较明显的密度界面,密度条件满足研究区的重力反演前提。

1.2 重力异常数据提取

本文采用的重力数据来源于青海省物探数据库收编的 1:25 万重力成果数据,该数据测量工作于 2006~2013 年完成,测点密度 1 点/6 km²,布格异常总精度优于 $\pm 0.5 mGal$ 。图 3 为研究区布格重力异常图,布格异常是不同密度单元的综合反应,包含地层厚度、地壳厚度与深部构造等因素^[20]。研究区布格重力异常场的形态总体表现较为简单,在中部造宗务隆山—夏河—甘加陆缘裂谷一带以宽大的异常梯度带为特征,为南北两个区域,北区为重力低,重力最低值位于哈拉湖凹陷内,总体上主要是以中新世为主的沉积地层。南区相对重力高,呈近 EW 向、NWW 向展布,主要是老地层的基底显示。南部区域在德令哈市—怀头塔拉一带为重力低,整体表现为一个断陷盆地,局部出露有新生界地层,航磁异常中这种特征表现尤为明显(图 5)。区域布格重力

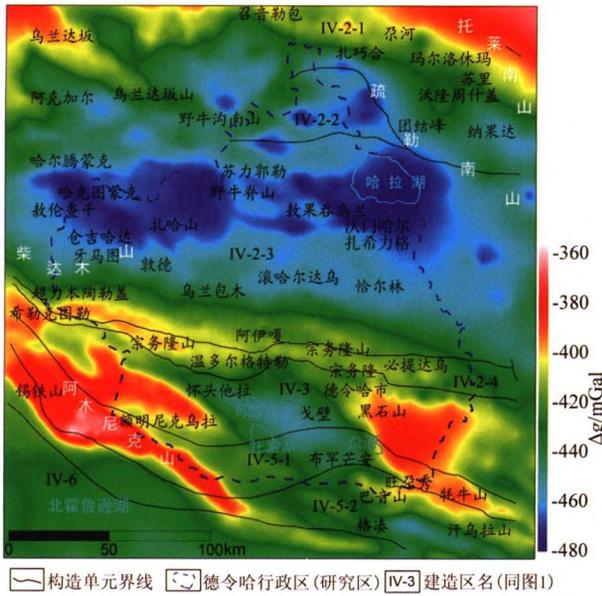


图3 德令哈地区布格重力异常

Fig.3 Bouguer gravity anomaly in Delingha area

异常场的这布特征主要反映了中深部地层基底、深部莫氏面的综合起伏形态。

研究区剩余重力异常(图4)北部形态以块状、似椭圆状为主,南部则以长轴轴向呈 NWW 向、近 EW 向的条带异常为主,分布面积大小不一,异常场幅值变化整体上表现相对平缓,最高值位于阿木尼克山一带,幅值大于 20 mGal。研究区剩余重力异常主要是基底上覆地层及侵入岩体等浅部地质构造的综合反映。

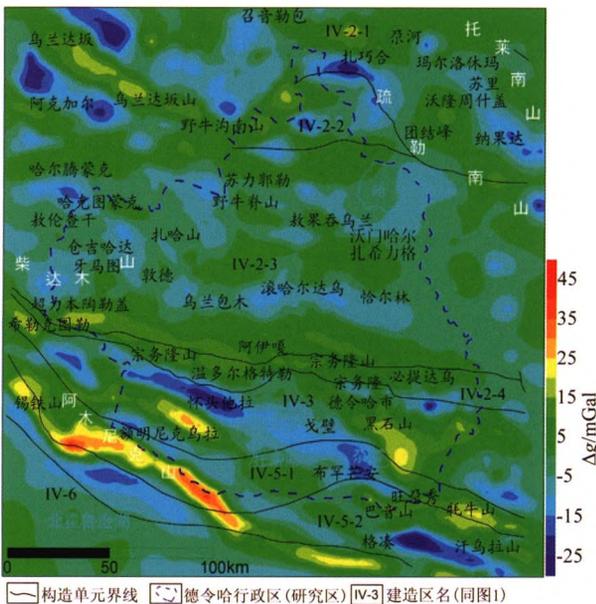


图4 德令哈地区剩余重力异常

Fig.4 Residual gravity anomaly in Delingha area

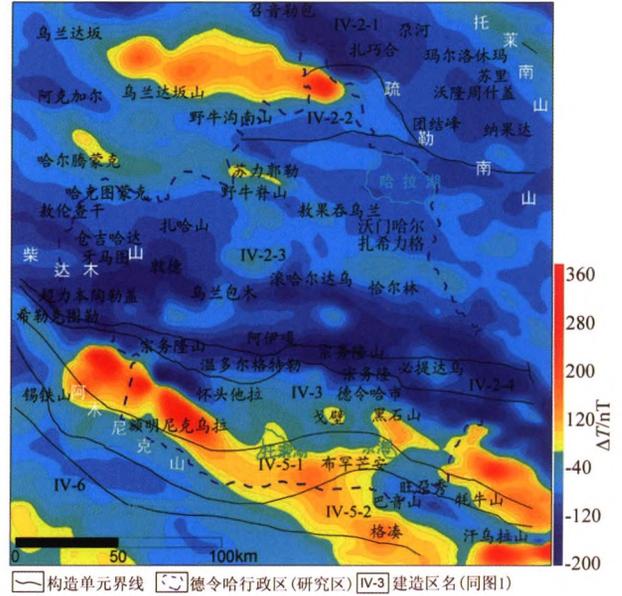


图5 德令哈地区航磁异常

Fig.5 Aeromagnetic anomaly in Delingha area

2 断裂构造解释

2.1 断裂识别解释方法

断裂体系分析是位场资料处理解释中的一个重要环节。在利用重磁数据识别断裂体系时,一般会有相关分析、水平一次方向导数、总梯度模等方法,但是这些方法不具有信号源深度的信息。而小波分析方法在信号识别时包含信号源位置及大小或深度信息^[21]。比如小波分解尺度较小时,显示区内断裂、浅部密度单元、噪声干扰等信息;分解尺度较大时,浅部信息减弱,深部及大规模信号源被识别,所以在不同的目标体识别中选用不同的小波分析阶数。

2.2 重力异常小波断裂分析

对区域剩余重力异常数据进行小波断裂分析(图6),解释研究区断裂构造。不同尺度的计算对应不同的空间深度,小波尺度越小,显示局部浅部断裂越清晰,也会包含浅部密度不均匀体及噪声干扰信息,尺度越大显示深大断裂,浅部信息会消减。所以选择合适的计算尺度会较好地显示需要研究的目标体信息。

据已知地质信息可知,本区分布有浅、中、深各级断裂,浅部断裂多止于沉积盖层,深部断裂有的切割穿基岩甚至基底,以能够在地表显示更多的浅中深部各级断裂和与已知断裂吻合较好为目标,得知小波 2 阶断裂分析结果显示结果较好,所以选择小波 2 阶断裂分析结果解释全区断裂构造。

可以看出,小波分析解释的断裂中对于区域三

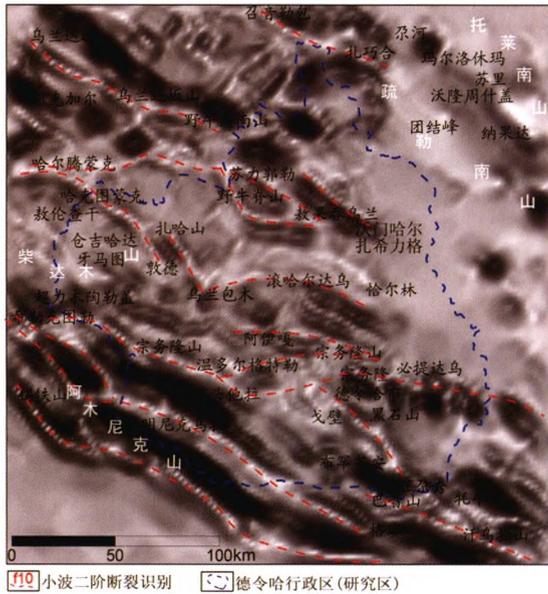


图 6 重力异常小波断裂分析结果

Fig.6 Results of wavelet fracture analysis of gravity anomaly

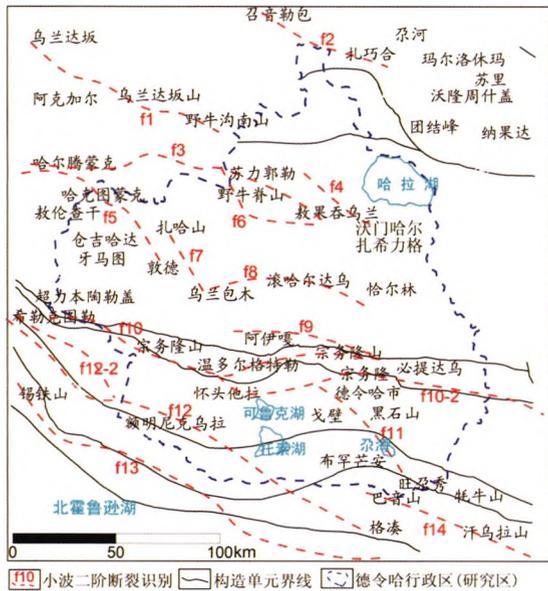


图 7 小波 2 阶断裂分析成果

Fig.7 Second order wavelet fracture analysis results

级构造线和已知地质大断裂都有较好的显示,断裂方位与走向具有区域一致性(图 7),具体解释断裂分析如下:

f1 位于区外北西部,长约 106 km,走向为 NW—SE,属于山前断裂,断裂南端经过河流。属于深部断裂。

f2 在工区外北缘,长约 70 km,走向为 NW—SE,属于山间断裂,在地形地貌上具有明显的显示。属于中深部断裂。

f3 长约 148.2 km,西段走向近 EW,东段走向趋

于 SEE。西段分布于山区,中段沿河谷分布,东段平行于主山脊沿山腰分布。属于中部断裂。

f4 长约 42 km,走向 NW—SE,分布于山脚积扇区,靠近哈拉湖。属于中部断裂。

f5 长约 87.4 km,走向由西段的 EW 变为东段的 SE,西段沿主山脊分布,东端分布于山腰。属于中部断裂。

f6 长约 57.6 km,走向由东段 NW—SE 变为西段近 EW,断裂西端止于 f3,断裂主体沿野牛脊山山脊分布。属于浅部断裂。

f7 长约 32.7 km,走向 NW—SE,北段处于山脊中,南段处于山前。属于中部断裂。

f8 长约 78.4 km,走向呈轴近东西的半弧形。属于中部断裂。

f9 长约 68 km,走向近 EW,整体沿山脊线分布,为山间断裂。属于中部断裂。

f10(宗务隆山南断裂):是宗务隆山—青海南山断裂带最南支,控制了柴东盆地北缘。该断裂为半隐伏断裂,长约 168.3 km,整体走向和此区域三级构造线一致,为 EW—NW,倾向 NE—N,具逆推性质。重磁场具明显的线性特征,等值线呈密集梯度带。在其东段南部有平行分布的次级断裂 f10-2,平行主山脊线分布于山前,长约 131.7 km。f10-2 以近 EW 向分布于德令哈市区北部,在其南部有耕地、省道、城镇、水库等,对人居环境潜在影响比较大。断裂离德令哈市区最近处为北部水库部位,距离 8.32 km,该断裂西段离耕地和省道最近处为 2.27 km。属于深部断裂。

f11 为走向 NW—SE 的次级断裂,长约 58.3 km,北端止于 f10-2,断裂由北向南依次经过厂房、公路、耕地、住宅楼、河流、湖泊等人文及自然资源要素,对城市和生态环境影响较大。属于中深部断裂。

f12(欧北断裂):走向为 NW—SE,长度约为 202.5 km,西段走向和此区域三级构造线一致,东段呈斜切割区域三级构造性特征。断裂西段经过省道,整体经过多条山路。中部离托素湖最近处为 2.2 km。f12-2 断裂为位于 f12 西段北部的次级断裂,走向 NW—SE,长 66.8 km,为山中断裂,断裂南部经过省道。属于深部断裂。

f13(埃南断裂):长约 205.2 km,为一条隐伏断裂带,构造形迹清晰,沿锡铁山—埃姆尼克山南—东延地段分布,和此区域三级构造性基本一致,具有典型构造地貌特征。总体走向 NW—NWW、倾向 NE—NNE、倾角较陡,是盆内不同重磁场分界线。该处重力异常等值线平行、密集,梯度变化大,断裂

南侧为重力低、负磁异常,北侧为重力高、正磁异常,是北侧隆起带与南侧拗陷带的两个不同地质单元的重要分界线。属于深部断裂。

f14 位于区外南东部,长约 8.6 km,走向为 NWW,与该处三级构造线平行。属于深部断裂。

3 基底反演解释

3.1 密度界面反演方法

界面反演,是根据区域重、磁异常计算组成其场源的界面的厚度与起伏。通常,在研究地质构造问题中,应用界面反演的方法研究沉积盆地基底、区域地层和深部构造界面(如莫霍面)的起伏,从而探寻与构造有关的矿产和能源资源,特别是油气勘查中确定沉积盆地基底形态,或反演一个或多个物性界面的深度。其中,密度界面反演,即根据重力资料来确定地下密度界面的起伏情况。

本次密度界面反演计算采用迭代的频率域 Parker 法^[22-23],该方法是 Parker 于 1973 年在位场反演计算中引入傅里叶变换(FFT)的方法,后来由 Oldenberg 根据 Parker 公式,提出了一种频率域的密度界面迭代反演方法^[24],改变了过去采用棱柱或长方体模型反演界面的不连续性,由于采用了快速傅立叶变换,大大提高了反演计算速度。由于篇幅限制,具体原理见^[22-23]。反演采用的主要参数为目标密度界面差 $\sigma=0.3 \text{ g/cm}^3$,参考面深度(平均深度) $z_0=5 \text{ km}$ 。

3.2 基底深度特征

结合区内物性差异、基底平均深度等已知信息,对重力异常进行相应的密度界面反演计算,得出区域基底起伏及深度特征(图 8、图 9、表 2)

1) 哈拉湖凹陷,中心位于哈拉湖一带,形态近块状,北以断裂以疏勒南山附件中南祁连分界断裂为界,西以苏力郭勒至野牛脊山浅凹陷为界与哈克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷相接,南至凹陷隆过渡带。凹陷主体面积 2 353 km²,中心深度 7.2 km。哈拉湖拗陷内部及南北边部发育 NW、EW 向断裂,控制着次级凹陷格局。凹陷南部边缘恰尔林一带有花岗岩出露。据屈念念等^[11]研究,将哈拉湖凹陷面积圈为 4 556 km²,最大深度约 5 km,这是由于本文以凹陷深度 6.5 km 等值线进行了圈定,而后者以更大范围的面积圈定凹陷。

2) 哈克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷,属于北部第二大凹陷,东接德令哈凹陷,形态呈长轴近 EW 向的似椭圆状。凹陷主体面积 21 20 km²,凹陷

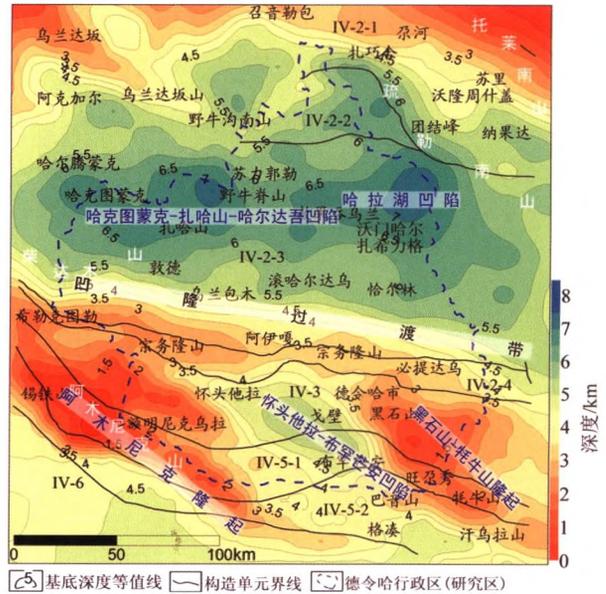


图 8 德令哈地区基底构造单元解释成果

Fig.8 Interpretation of basement structural units in Delingha area

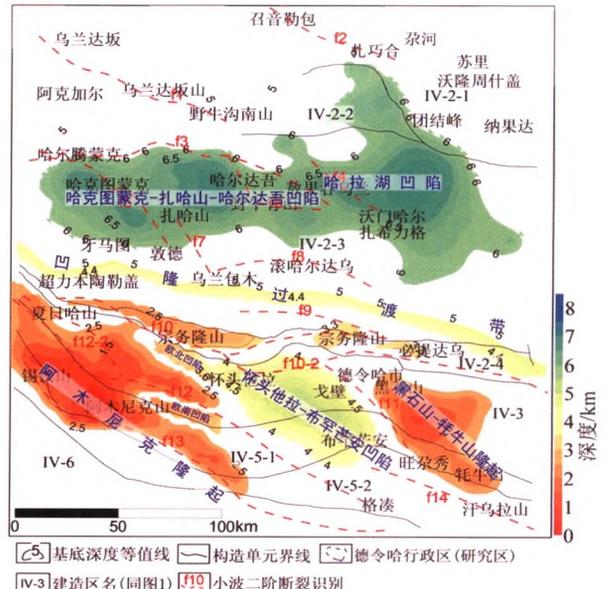


图 9 德令哈地区基底构造单元解释成果

Fig.9 Interpretation of basement structural units in Delingha area

中心最大埋深 7 km。北以 f1 断裂为界,主体凹陷北以 f3 为界,南部被凹陷过渡带控制。以哈克图蒙克和敖果吞乌兰为两个凹陷中心,中间野牛脊山处稍浅。局部区域出露有花岗岩。

3) 怀头他拉—布罕芒安凹陷(德令哈凹陷),位于阿木尼克隆起与黑石山—牦牛山隆起之间,北部以宗务隆山断裂(f10)为界与宗务隆山浅隆起带相邻,东部以 f11 为界和黑石山—牦牛山隆起相接,呈长轴近怀头他拉—布罕芒安一线(NW)的椭圆状分

布,基底埋深范围 3.5~6.5 km。地貌上东西北三面环山,南侧为低山丘陵,中部呈广阔平原。重磁异常反映基底埋深总趋势东高西低、北高南低,最深处位于可鲁克湖一带,基底埋深达到 6.5 km 左右。德令哈市位于此凹陷北东部边缘地带。此凹陷与《柴达木盆地德令哈坳陷基本地质特征与油气资源潜力评价》中德令哈凹陷基本一致,两者基底最大埋深对应较好。

4) 欧北凹陷,位于欧龙布鲁克山北缘,北部被宗务隆山断裂控制与宗务隆山浅隆起带相邻,延伸面积约 275 km²,凹陷平均深度 3.5 km,最大深度约 4 km。

5) 欧南凹陷,位于阿木尼克山与欧龙布鲁克山之间,是被阿木尼克山隆起控制的浅凹陷,延伸面积约 200 km²,凹陷最大深度约 3 km。

6) 宗务隆山浅隆起带,位于南北凹陷过渡带以南,沿宗务隆山以 EW 向带状展布,基本与三级构造单元(IV-2-4)宗务隆山—夏河—甘加陆缘裂谷部位重合。隆起带边缘展布有断裂 f10 及 f10-2。隆起深度变化较大,范围约在 2~3.5 km。宗务隆山浅隆起带及部分凹陷过渡带区域为《柴达木盆地德令哈坳

陷基本地质特征与油气资源潜力评价》中所描述的宗务隆山前逆冲带,两者基底最大埋深对应较好。

7) 阿木尼克隆起,形态呈 NW—SE 走向的带状,隆起主体位于 IV-5-1-滩涧山岩浆弧(O)构造带内,在其北东延伸出一相同走向,经过艾力斯台的局部隆起。隆起主体南西和北东部以 IV-5-1 滩涧山岩浆弧构造线为界,与 f10、f12、f13 断裂有明显的边界对应关系,隆起北东部延伸部位与宗务隆浅隆起带相邻,东部与怀头他拉—布罕芒安凹陷相接。其主体面积 1 730 km²。隆起中心位于阿木尼克山附近,山间有基岩出露。

8) 黑石山—牦牛山隆起,位于区南东部,呈长轴 NW 的近椭圆状,位于 IV-3 全吉地块及 IV-5-1 滩涧山岩浆弧三级构造单元部位。西部以断裂 f11 为界与怀头他拉—布罕芒安凹陷相邻,北部以断裂 f10-2 为界与宗务隆浅隆起带相接。其主体面积 1 275 km²,隆起中心位于黑石山与牦牛山之间部位,最浅处埋深约 0.5 km。

3.3 基底岩相特征

根据不同基底岩性的重磁异常特征、已出露基底岩性分布特征及前人资料^[13,22]综合推断:

表 2 基底特征综合解释成果

Table 2 Comprehensive interpretation results of base features

	布格重力异常特征	航磁异常特征	古地层或岩体出露情况	综合推断基底岩性	中心平均深度 km	主体面积 km ²	中心部位	与断裂关系
阿木尼克隆起	高异常	中高异常	未出露	中酸性夹中基性火山岩与新太古界—古元古界变质岩	0.3	1730	阿木尼克附近	主体边界被 f12 和 f13 严格控制
黑石山—牦牛山隆起	高异常	中高异常	古元古界地层;局部花岗岩	岩浆岩为主,局部元古界变质岩	1	1275	黑石山与牦之间,尕旺秀以北约 20 km	北部和西部分别被 f10-2、f11 控制
宗务隆浅隆起带	中高异常	低异常	未出露		3.5	2063	沿宗务隆山东向西分布	南部被 f10 及 f10-2 控制
哈克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷	低异常	低异常	二长花岗岩;边缘区域;新元古界地层	新元古界浅变质岩为主,局部花岗岩	7.1	2120	哈尔达吾南西约 8 km	北部被 f1 控制
哈拉湖凹陷	低异常	弱异常	二长花岗岩、花岗闪长岩;边缘区域;新元古界地层	新元古界浅变质岩为主,局部二长花岗岩及花岗闪长岩	7.2	2353	哈拉湖及偏南部区域	北部被 f2 控制
怀头他拉—布罕芒安凹陷	中异常	中异常	未出露	元古宇深变质岩为主,局部沿断裂有侵入岩	5.4	1800	怀头他拉至布罕芒安中间一带	北、西、东部分别被 f10-2、f12、f11 控制
欧北凹陷	弱异常	低异常	南侧出露古元古界地层	新元古界浅变质岩为主	3.5	275	欧龙布鲁克山北侧	北侧被宗务隆山断裂(f10)控制
欧南凹陷	弱异常	中异常	未出露	新元古界浅变质岩为主	3	200	欧龙布鲁克山与阿木尼克山间	北侧被 f12 控制

1) 花岗岩为主基底岩相,表现为高重力异常、中高磁异常,重磁异常形态多变、异常边界梯度变化大,说明基底由高密度强磁性且埋深较浅的物质组成。比如欧龙布鲁克山及牦牛山隆起一带,出露有新太古界、古元古界地层,认为基底以岩浆岩隆起为主,局部残留有元古宇变质岩。

2) 混合岩基底岩相,表现为区域性平缓的低重力异常,中高磁异常,说明基底由高密度中高磁性且埋深较深的物质组成。比如德令哈凹陷区域,东部出露见古元古界达肯大坂岩群中深变质岩,沿断裂构造有侵入岩分布,中部以古元古界深变质岩为主,西部以中新元古界浅变质岩为主,分析认为侵入岩和深变质的古地层综合反映。

3) 浅变质为主的基底岩相,表现为区域性封闭的低重力及负磁异常背景,说明盖层沉积厚,基底岩石磁性相对较弱、埋藏深。比如阿克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷区域,分析认为基底以中新元古界浅变质岩为主。

4) 泥盆系火山岩为主的基底岩相,表现为带状高重力异常,带状中弱磁异常,比如阿木尼克隆起区域,认为基底主要有由中酸性夹中基性火山岩组成,其次由新太古代—古元古代变质岩的成分。

4 小结

本文主要根据重力异常反演计算,综合解释了德令哈地区断裂构造及基底凹陷结构。通过小波断裂分析方法解释了14条区域性断裂构造,f1、f10、f12、f13、f14为深部断裂,f2、f11为中深部断裂,f3、f4、f5、f7、f8、f9为中深部断裂,f6为浅部断裂。通过密度界面反演方法计算,综合解释了德令哈地区区域性“五凹三隆”基底结构,分别为阿木尼克隆起、黑石山—牦牛山隆起、宗务隆浅隆起带、阿克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷、哈拉湖凹陷、怀头他拉—布罕芒安凹陷(德令哈凹陷)、欧北凹陷、欧南凹陷。解释成果和前人划分结果对应较好,并对部分前人认识成果做了归属及补充完善。

从本文所解释的区域凹陷特征、断裂体系及出露岩性条件出发,若要对油气资源作一简单预测,生油凹陷最有利的条件为凹陷内部断裂构造不发育、在其边部发育深大断裂、且在凹陷周边的隆起等部位出露岩浆岩,满足这种地质结构分布特征的构造活跃部位有利于烃源岩的发育。比如阿克图蒙克—扎哈山—哈尔达吾凹陷东区内部断

裂构造不发育,但凹陷北、西、中部发育有f3、f5、f8等中深部断裂,且在凹陷周边广泛出露岩浆岩;据此,还有哈拉湖凹陷北部区域、德令哈凹陷等初选靶区。

参考文献(References):

[1] 朱筱敏,康安,韩德馨,等.柴达木盆地第四纪环境演变、构造变形与青藏高原隆升的关系[J].地质科学,2003(3):367-376.
Zhu X M, Kang A, Han D X, et al. Relation among Quaternary environmental evolution, Tectonic deformation in the Qaidam basin and uplifting of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, (3): 367-376.

[2] 党玉琪,熊继辉,刘震,等.柴达木盆地油气成藏的主控因素[J].石油与天然气地质,2004,25(6):614-619.
Dang Y Q, Xiong J H, Liu Z, et al. Main factors controlling hydrocarbon accumulation in Qaidam basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 614-619.

[3] 郭泽清,孙平,张绍胜,等.柴达木盆地三湖地区第四系构造发育历史及其勘探意义[J].高校地质学报,2012,18(2):372-378.
Guo Z Q, Sun P, Zhang S S, et al. Study on the Quaternary tectonic evolution and its significance for exploration in the Sanhu Area, Qaidam Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(2): 372-378.

[4] 孟庆泉.柴达木盆地北缘晚新生代精细磁性地层学与沉积对构造的响应[D].兰州:兰州大学,2008.
Meng Q Q. High Resolution magnetostratigraphy in the north of Qaidam Basin and the sedimentary response to tectonic since Late Cenozoic[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.

[5] 杨用彪,孟庆泉,宋春晖,等.柴达木盆地东北部新近纪构造旋转变及其意义[J].地质论评,2009,55(6):775-784.
Yang Y B, Meng Q Q, Song C H, et al. Neogene tectonic rotation of the NE Qaidam Basin and its implication[J]. Geological Review, 2009, 55(6): 775-784.

[6] 陈宣华,McCrivette M W,李丽,等.东昆仑造山带多期隆升历史的地质热年代学证据[J].地质通报,2011,30(11):1647-1660.
Chen X H, McCrivette M W, Li L, et al. Thermochronological evidence for multi-phase uplifting of the East Kunlun Mountains, northern Tibetan Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(11): 1647-1660.

[7] 杜忠明,樊龙刚,武国利,等.柴达木盆地东部新生代盆地结构与演化[J].地球物理学报,2016,59(12):4560-4569.
Du Z M, Fan L G, Wu G L, et al. Cenozoic architecture and structural development of the eastern Qaidam basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(12): 4560-4569.

[8] 王利,李宗星,刘成林,等.柴达木盆地德令哈坳陷石炭系烃源岩成熟度演化史[J].地质力学学报,2019,25(3):370-381.
Wang L, Li Z X, Liu C L, et al. The Carboniferous source rock maturity evolution in the Delingha depression in the Qaidam Basin, northwest China[J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(3): 370-381.

- [9] 甘贵元,严晓兰,赵东升,等.柴达木盆地德令哈断陷石油地质特征及勘探前景[J].石油实验地质,2006,28(5):499-503.
Gan G Y, Yan X L, Zhao D S, et al. Petroleum geologic characteristics and exploration prospect of the delingha fault-depression in the qaidam basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(5):499-503.
- [10] 徐世浙,余海龙,李海侠,等.基于位场分离与延拓的视密度反演[J].地球物理学报,2009,52(6):1592-1598.
Xu S Z, Yu H L, Li H X, et al. The inversion of apparent density based on the separation and continuation of potential field [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(6):1592-1598.
- [11] 屈念念,张明华,黄金明,等.南祁连盆地重力异常特征及其地质意义[J].地球物理学进展,2018,33(3):1123-1131.
Qu N N, Zhang M H, Huang J M, et al. Gravity anomaly features analysis and its geological significance in Southern Qilian Basin [J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(3):1123-1131.
- [12] 屈念念,李家斌,张西君,等.基于重磁资料研究贵州省深部构造特征[J].地球物理学进展,2019,34(5):1785-1793.
Qu N N, Li J B, Zhang X J, et al. Study of deep structural feature in Guizhou based on gravity and magnetic data. Progress in Geophysics [J]. 2019, 34(5):1785-1793.
- [13] 金和海.柴达木东部重磁场特征及构造单元划分[J].华东铀矿地质,2000(2):9-18.
Jin H H. Characteristics of gravity and magnetic field and division of tectonic units in eastern Qaidam [J]. Huadong Uranium Geology, 2000(2):9-18.
- [14] 冯娟,孟小红,陈召曦,等.重力密度界面反演方法研究进展[J].地球物理学进展,2014,29(1):223-228.
Feng J, Meng X H, Chen Z X, et al. Review of the gravity density interface inversion [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(1):223-228.
- [15] 冯旭亮.空间域密度界面反演方法及其进展[J].地球科学进展,2019,34(1):57-71.
Feng X L. Review of Density interface inversion method in spatial domain [J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(1):57-71.
- [16] 肖鹏飞,陈生昌,孟令顺,等.高精度重力资料的密度界面反演[J].物探与化探,2007(1):29-33.
Xiao P F, Chen S C, Meng L S, et al. The density interface inversion of high-precision gravity data [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(1):29-33.
- [17] 王耀辉,姜忠诚,石东阳,等.高精度重磁电资料在伊犁盆地巩乃斯拗陷基底岩性岩相识别中的应用[J].地球物理学进展,2013,28(2):793-799.
Wang Y H, Jiang Z C, Shi D Y, et al. Basement lithology lithofacies identification in the Kunse depression, Yili Basin: Using the high-precision gravity, magnetic and electric data [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2):793-799.
- [18] 周稳生,董平,王良书,等.三江盆地重磁场特征与深部结构[J].地球物理学进展,2014,29(6):2620-2627.
Zhou W S, Dong P, Wang L S, et al. Gravity and magnetic anomalies and deep structure in the Sanjiang Basin [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(6):2620-2627.
- [19] 宁媛丽,周子阳,孙栋华.重磁资料在鄂尔多斯盆地西南缘基底研究中的应用[J].物探与化探,2020,44(1):34-41.
Ning Y L, Zhou Z Y, Sun D H. The application of magnetic and gravity data on research the basement in the southwest of Ordos Basin [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(1):34-41.
- [20] 曾华霖,万天丰.重力场定义的澄清[J].地学前缘,2004(4):595-599.
Zeng H L, Wan T F. Clarification of the definition of a gravity field [J]. Earth Science Frontiers, 2004(4):595-599.
- [21] 付强,刘天佑,马龙,等.基于小波变换和均衡重力异常的断裂识别——以柴达木盆地及周边地区为例[J].地震地质,2019,41(4):960-978.
Fu Q, Liu T Y, Ma L, et al. Wavelet transform analyses of faults detection on isostatic gravity anomalies: A case study from the qaidam basin and its adjacent areas [J]. Seismology and Geology, 2019, 41(4):960-978.
- [22] Parker R L. The rapidical culation of potential anomalies [J]. Geophysical Journal of Royal Astronomical Society, 1973, 31:447-455.
- [23] Parker R L. Best bounds on density and depth from gravity data [J]. Geophysics, 39(5):644-649.
- [24] Oldenburg D W. The inversion and interpretation of gravity anomalies [J]. Geophysics, 1974, 39(4):526-536.
- [25] 杨超,陈清华,任来义,等.柴达木盆地构造单元划分[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(1):25-33.
Yang C, Chen Q H, Ren L Y, et al. Tectonic Units of the Qaidam Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Natural Science Edition, 2012, 34(1):25-33.

The development and application of gravity data in regional comprehensive interpretation of Delingha region

MENG Jun-Hai¹, MA Long¹, WANG Jin-Hai¹, ZHAO Li-Ping¹, WANG Li-Jun¹, FU Qiang², TONG Ming-Hui¹
(1.No. 3 Institute of Geological Exploration of Qinghai Province, Xining 810029, China; 2. Key Laboratory of Continental Collision and Plateau Uplift, Institute of the Tibetan Plateau Research, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the latest 1:250 000 gravity data of Delingha area and combined with the relevant known data, the authors carried out the new extraction and inversion interpretation of gravity anomaly. The study shows that the current gravity anomaly characteristics in

Delingha area can reflect the basement structure. In this paper, 14 regional fault structures were interpreted by wavelet fault analysis method, and the basement structure of "five depressions and three uplifts" in Delingha area was recognized by the density interface inversion calculation of Parker method. The uplift and depression pattern of the current regional basement in Delingha area was defined, the undulating change and depth of the uplift and depression of the basement were inferred, and the attribution and supplement of some previous achievements were made. The authors hope that the result of this study will play a guiding role in the deep structural analysis, mineralization research and oil and gas resource prediction in Delingha area, especially in the Chaidong basin.

Key words: Delingha area; basement depression; tectonic unit; density interface inversion; fault interpretation

(本文编辑:王萌)