Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2017, 7(3), 470-486
Published Online June 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2017.73050

Hans汉斯

Gravity and Magnetic Survey Application on Oil and Gas Exploration in Zhongmu Depression

Shujing Gao, Qin'e He, Li Wang, Shaohu Hu, Lin Lu

The Second Comprehensive Geophysical Exploration Party, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Xi'an Shaanxi
Email: 149297683@qq.com

Received: Jun. 10th, 2017; accepted: Jun. 27th, 2017; published: Jun. 30th, 2017

Abstract

During the whole process of oil and gas exploration, gravity and magnetic survey is an effective exploration method in dividing faults and tectonic units, finding out stratum structure, the distribution of volcanic rocks with magnetic property, realizing the condition of oil and gas resources producing, storage, migration and preservation and delineation for target areas. The author hackles the exploration achievements by gravity and magnetic survey in Zhongmu depression and hopes to provide reference for next exploration arrangement. Based on the application for gravity and magnetic survey in the Zhongmu depression, four first-order tectonic units and eight second-order tectonic units are divided in this area. And the conclusions are drawn as follows: boundary faults of Zhoumu depression with strike-slip and pull apart play an important role in Zhongmu depression formation. The depocenter of Zhongmu depression migrated southwards from Mesozoic to early Paleogene. There are faults in the south overlap in the north in the southern sag. And it is deeper in the west and shallower in the east. The tectonic evolution can be divided into three stages: developing stage in Jurassic, faulted period in early Paleogene, depression period in late Paleogene and Quaternary. Favorable section of oil and gas exploration is Baishafault terrace which can be ranked as the priority target. After a breakthrough drilling exploration can be put into effect in the south high spot of Guanchang tectonic belt.

Keywords

Oil and Gas Exploration, Zhongmu Depression, Gravity and Magnetic Features

重磁勘探在中牟凹陷油气勘查中的应用

高树静，何秦娥，王　丽，胡少虎，卢　琳

文章引用: 高树静, 何秦娥, 王丽, 胡少虎, 卢琳. 重磁勘探在中牟凹陷油气勘查中的应用[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(3): 470-486. https://doi.org/10.12677/ag.2017.73050

陕西地矿第二综合物探大队，陕西 西安
Email: 149297683@qq.com

收稿日期：2017年6月10日；录用日期：2017年6月27日；发布日期：2017年6月30日

摘 要

在油气勘查中，重磁勘探对划分断裂构造及构造单元、查明目标区的地层结构、含磁性火山岩的分布、了解勘探区及油气的生、储、运、保条件、圈定目标靶区是较为行之有效的勘探方法，笔者对中牟凹陷重磁勘探工作取得的勘探成果进行了充分的分析和研究，希望能为油气勘查工作部署提供借鉴。通过重磁勘探在中牟凹陷油气勘查中的应用，在研究区划分出4个一级构造单元，及8个二级构造单元。认为中牟凹陷边界断裂“左行走滑拉分”是中牟凹陷形成的主导因素，其从中生代(侏罗纪)到早古近纪，沉积中心由北向南迁移，凹陷内的南部凹陷为南断北超的“箕”形凹陷，具有西深、东浅的特征；中牟凹陷的构造演化主要分为三期：侏罗纪左行走滑拉分盆地发育期，早古近纪为断陷期，晚古近纪、第四纪为坳陷期；认为油气勘探的有利区段为白沙断阶，列为第一勘探对象，如果有所突破，第二步对官厂构造带的南部构造高点实施钻探，在取得成效之后，勘探可在官厂一带进行。

关键词

油气勘查，中牟凹陷，重磁勘查

1. 引言

中牟凹陷油气勘探工作持续了十多年，先后有多家单位在该区开展工作，多以地震勘探及钻探工作为主，油气地质研究工作取得了许多研究成果，但仅在中牟凹陷西部的杜营洼槽见到了油气显示，整个中牟凹陷的油气勘查工作未能取得重大突破。

2003 年在中牟凹陷部署 1:5 万高精度重磁力勘探工作，其目的是查明中牟凹陷的地质结构及与周边地质单元的接触关系、区内地层的发育情况，查明工区内不同时代的沉降中心和基岩埋深及各主要密度界面起伏形态，圈定重力密度界面反映的局部构造。

2. 地质构造背景

2.1. 地质构造背景

中牟凹陷位于华北盆地南部，主要包含第四系平原组、新近系、古近系、侏罗系、三叠系、古生界、太古界。中牟凹陷南临太康隆起、东接民权凹陷，东北以兰考凸起与东濮凹陷相邻，北接内黄隆起，西北部与武陟凸起相邻，凹陷四周均以断裂围限。主要断裂有封丘断裂、开封断裂、杨庄断裂、中牟断裂、陡门断裂；局部构造主要包含东漳－柳园口背斜构造带、乔庄－刘楼断鼻带、丘庄断块、曲兴集－朱仙镇构造带、太平镇构造带。

2.2. 存在的主要问题

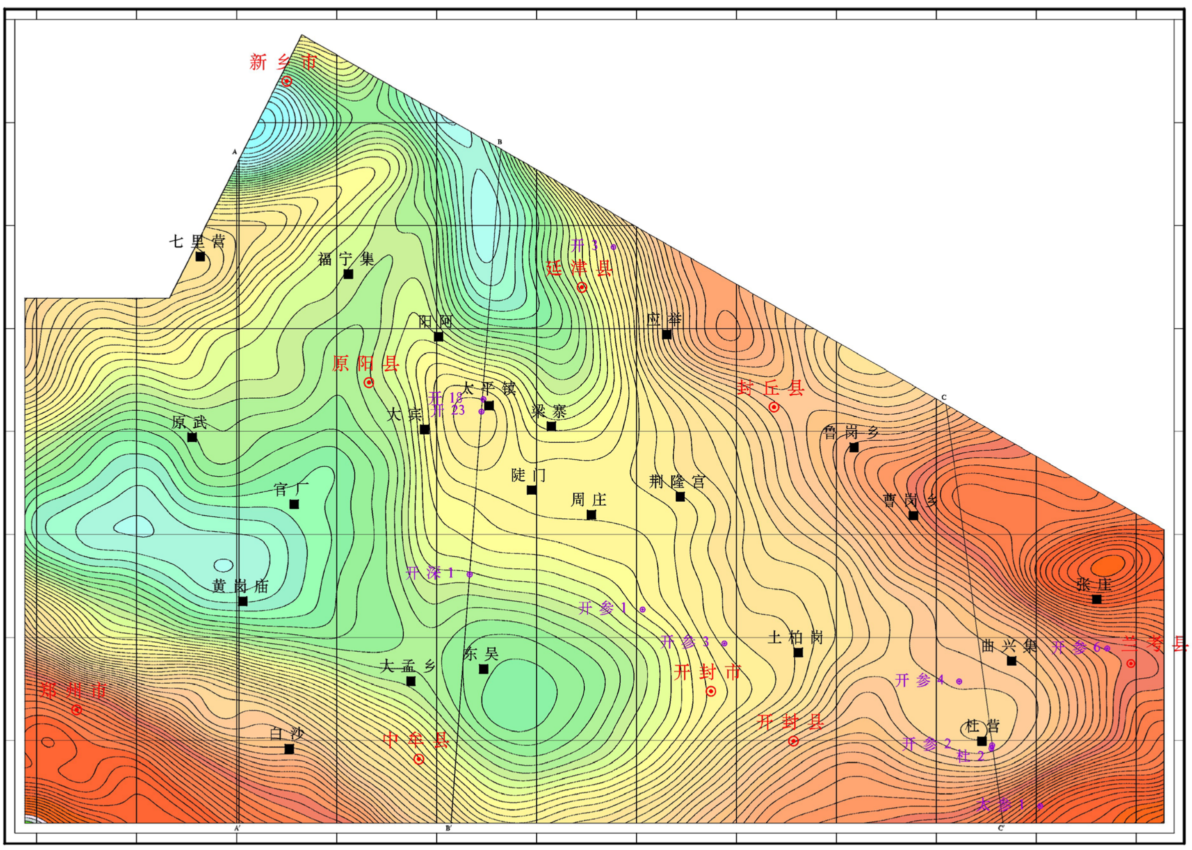
由于区内被第四系覆盖，阻碍了地质工作者的观察和认识，对凹陷性质、凹陷与周边地质单元的接触关系、构造演化研究不够深入，对中牟凹陷的边界、地层结构、构造发育特征、杜营洼槽与中牟凹陷的关系、对太平镇构造的认识等问题未有明确的结论。

3. 重磁场特征

3.1. 布格重力异常特征

由布格重力异常平面图(图 1)上可以看出，研究区布格重力场宏观上表现为中部低、四周高的特征。中部重力低被四周重力高“菱”形环绕，四周重力高以梯级带形式向中牟凹陷重力低过渡。重力场值东高西低，布格重力场值在−45.1~−11.9 × 10^{-5} m/s^2之间变化。重力场最小值位于研究区北部新乡市附近，最大值位于研究区西南边界(郑州市南)，在太平镇附近形成南北向的布格重力高圈闭。

中部重力低四周被重力高环绕，形成一个东西长、南北窄的“菱”形重力低，布格重力场值总体上呈北高南低、东升西降的变化特征。在南部形成北西向的条带状重力低异常带，分别以黄岗庙、东吴、杜营为中心，形成三个独立的重力低圈闭；太平镇重力高宏观上为南北走向，中心形态为等轴状。四周以重力高环绕中部重力低，并以梯级带形式向中部重力低过渡。西南部重力高以郑州为中心，等值线呈北西向，梯度变化较大，场值由西南向东北呈台阶状降低；东南部重力高等值线呈北东向同向弯曲，由北向南增大；东北部重力高呈北西向排列，形成三个圈闭高点，对应于兰考凸起；西北部重力高呈北东



Figrue 1. Planar map of bouguer gravity anomaly

图 1. 布格重力异常平面图

向排列，异常在研究区形态不完整，对应于武陟凸起[1] [2]。

通过对局部重力异常的研究，在区内圈定局部重力异常 55 个，其中局部重力高异常 35 个、局部重力低异常 20 个。通过研究分析，推断基底凸起类异常 16 个、基底断凸类异常 10 个、背斜构造类异常 4 个、古近系内部构造类异常 5 个。

3.2. 磁力异常特征

从磁力 ΔT 异常平面图(图 2)上可以看出，磁力场值南北低、中部高，宏观上呈团块状，其形态与布格重力场形态差异较大，场值在−540 nT~−140 nT 之间变化。由磁力 ΔT 化极异常平面图(图 3)可以看出，经化极处理后的磁异常与未化极前的磁力 ΔT 异常形态变化较大，各异常形成独立的磁力高圈闭，异常向北偏移约 3~5 km，郑州市、兰考县磁力低异常均向北偏移，并形成明显的磁力低异常区。

开封县磁力高等值线由南向北“突”出，等值线同向弯曲，异常范围比未化极前的磁力 ΔT 异常范围大，包括 4 个磁异常,推断由磁性基底凸起所致。

七里营磁力高位于测区北部，大致沿七里营－福宁集一线呈近东西向展布。磁异常的走向、平面位置与七里营重力高的位置基本吻合，但其异常走向存在差异，布格重力剩余异常走向北东，而磁力异常走向近东西，其成因是由于该区在左旋扭力的作用下，古生界发生平移错位，而磁性基底刚性较强，未发生平移错位。推断该磁异常由磁性基底凸起所致，受控于 $F_{I\text{-}8}$ 断裂的作用，磁性基底最小埋深约为 5000 m。磁力高范围减小，等值线北陡南缓，磁异常向北偏移约 5 km，中心位于福宁集(西侧)一带，异常带变窄，在原武东侧该异常形成向南延伸的“鼻”状磁力高异常，其磁性体具有“单面山”的特征。

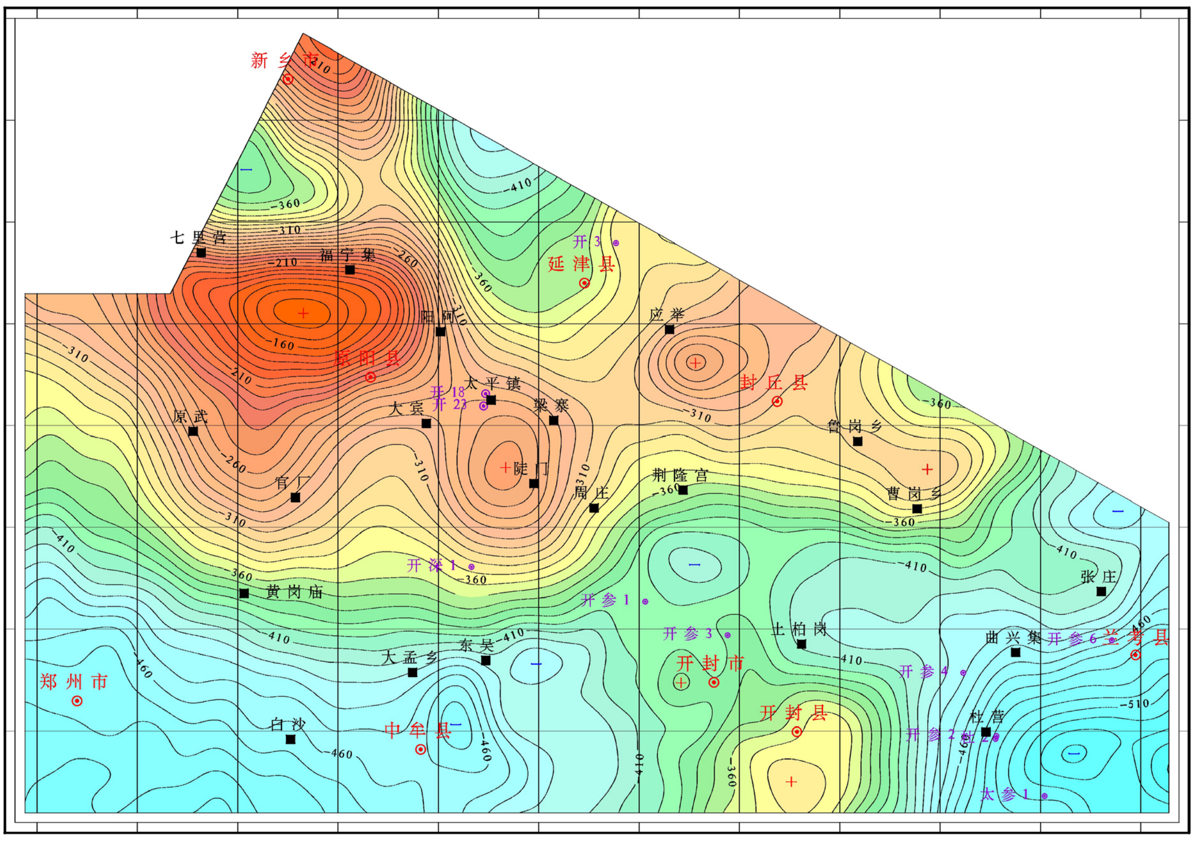


Figure 2. Planar map of ΔT magnetic anomaly
图 2. 磁力 ΔT 异常平面图

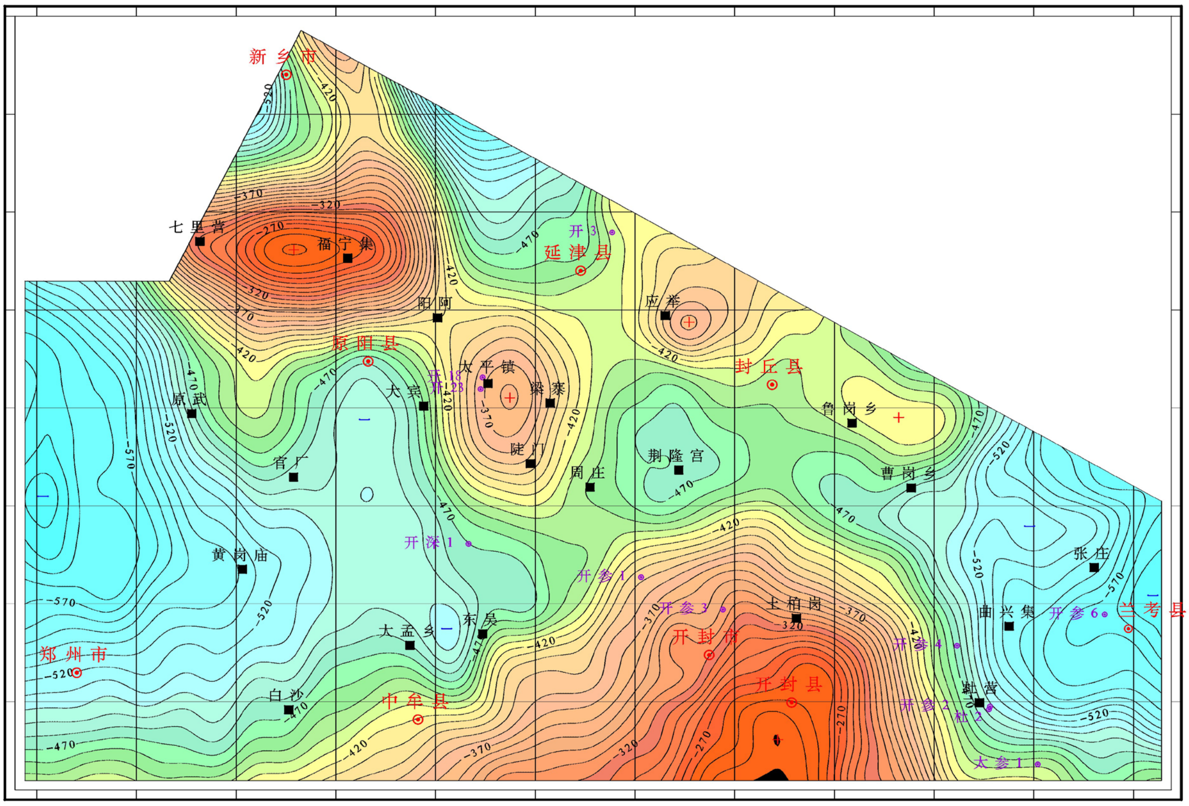


Figure 3. Planar map of ΔT magnetic anomaly after reduced to the pole

图 3. 化极磁力 ΔT 异常平面图

太平镇磁力高向北偏移约 5 km，异常表现为南北向的长方形，磁异常中心等值线稀疏，四周等值线密集，为北东向的高异常带，形成两个独立的圈闭。将重力异常与磁力异常叠合对比，磁力高与重力高位置基本对应，但二者形态有所差异。磁异常圈闭范围大、形态规则，而重力异常圈闭范围小、形态扭曲，其主要是在左旋扭力的作用下，以太平镇构造带为中心，上覆古生界发生构造变形所致。推断该磁异常由磁性基底凸起所致，受断裂 $F_{II\text{-}8}$、$F_{II\text{-}9}$ 的控制作用，磁性体最小埋深约为 6500~7000 m 左右。

东北部磁力高位于测区东北部，大致沿应举－鲁岗乡－张庄一线呈北东向展布，包括三个磁异常。推断由磁性基底凸起所致，异常的走向与断裂 $F_{I\text{-}5}$ 一致，与封丘－兰考重力高位置基本对应，表明该区重、磁同源，磁性基底埋深大于 8000 m。

郑州磁力低位于测区西南部郑州市附近。该区磁性基底埋深较大，浅层磁性侵入岩体不发育。磁性基底反演计算成果表明，该区磁性基底由南向北降低的斜坡状，磁性基底埋深在 10,000~13,000 m 之间变化。将布格重力异常平面图与磁力 ΔT 化极异常平面图叠合对比可以看出，郑州一带(中牟断裂南侧)重力场与磁力场差异较大，推断该区磁性基底埋深较大，磁力场与磁性基底的埋深密切相关，而重力场与该区古生界(无磁性)的构造相关。推断引起该区磁力低与重力高的场源不是同一地质体，也就是说，该磁力低主要因磁性基底埋深较大，而上覆古生界(无磁性)厚度较大所致；重力高与该区古生界基底构造相关，由于古生界密度较大，位于太康隆起之上，基底埋深较浅，引起重力高的主要因素是较厚的古生界(高密度体)所致。

4. 定量计算成果

本次共求取了四个密度界面及磁性基底埋深。

第一密度界面(图 4)，相当于新近系底界面。该界面在区内连续分布，宏观上表现为四周高、中部低的特征，与布格重力异常形态相近，南部等深线近于东西向，东北部等深线近于北东向，西北部等深线同向弯曲，在中部形成东西向及南北向构造圈闭。最小埋深位于测区西南部，约为 500 m，最大埋深位于测区中部原阳－原武一带，约为 2850 m。

第二密度界面(图 5)，相当于古近系底界(空白区为古近系缺失)。该界面与下伏界面形态相似，但在太康隆起、兰考凸起及太平镇构造主体部位古近系缺失，新近系直接覆盖于上古生界(含三叠系)之上。界面宏观表现为中部低、四周高，等深线形态与局部重力异常形态相近，在凹陷区埋深较大，在凸起区埋深较浅。

第三密度界面(图 6)，相当于侏罗系底界面(空白区为侏罗系缺失)。该界面形态与下伏界面相比基本相似，但地层结构变化较大，大部分区段缺失侏罗系，古近系直接覆盖于上古生界(含三叠系)之上。该界面分布范围较小，最小埋深在开 3 井附近，埋深约为 2000 m，最大埋深位于延津洼槽，约为 6000 m。

第四密度界面(图 7)，相当于上古生界(含三叠系)底界。该界面在测区内连续分布，界面结构复杂，形态变化特征与局部重力异常形态相似，受区内断裂作用，界面的掀斜隆起、局部凹陷构造明显，宏观上具有中部低、四周高的变化特征。

磁性基底埋深(图 8)，该界面相当于太古界磁性基底顶界面，该界面在测区内连续分布，形态简单，宏观表现为东西低、南北高的特征。

在七里营一带，磁性基底埋藏深度较浅，隆升较高，等深线宏观上表现为近东西向的椭圆形圈闭，与七里营重力高位置大致对应，最小埋深约为 5000 m；南、北两侧等深线密集，磁性基底界面快速下降，

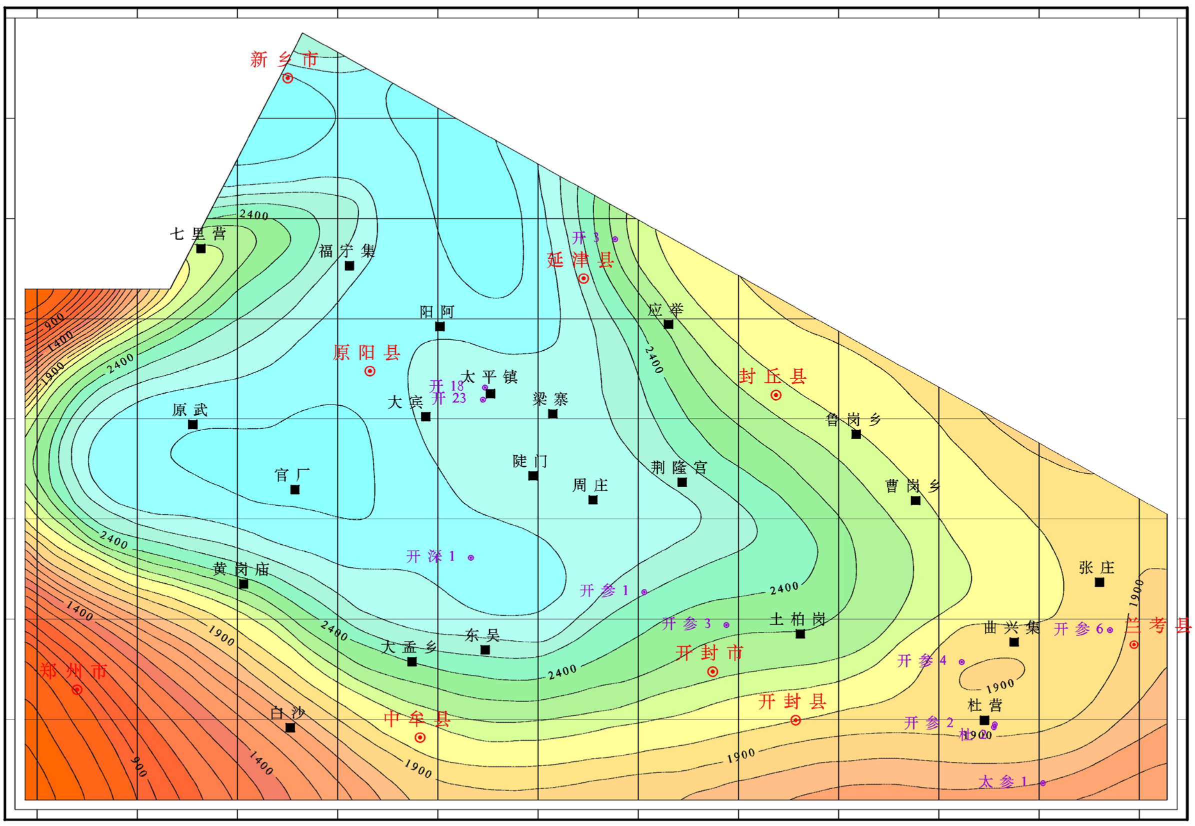


Figure 4. Isobath-map of the first-density interface
图 4. 第一密度界面等深度图

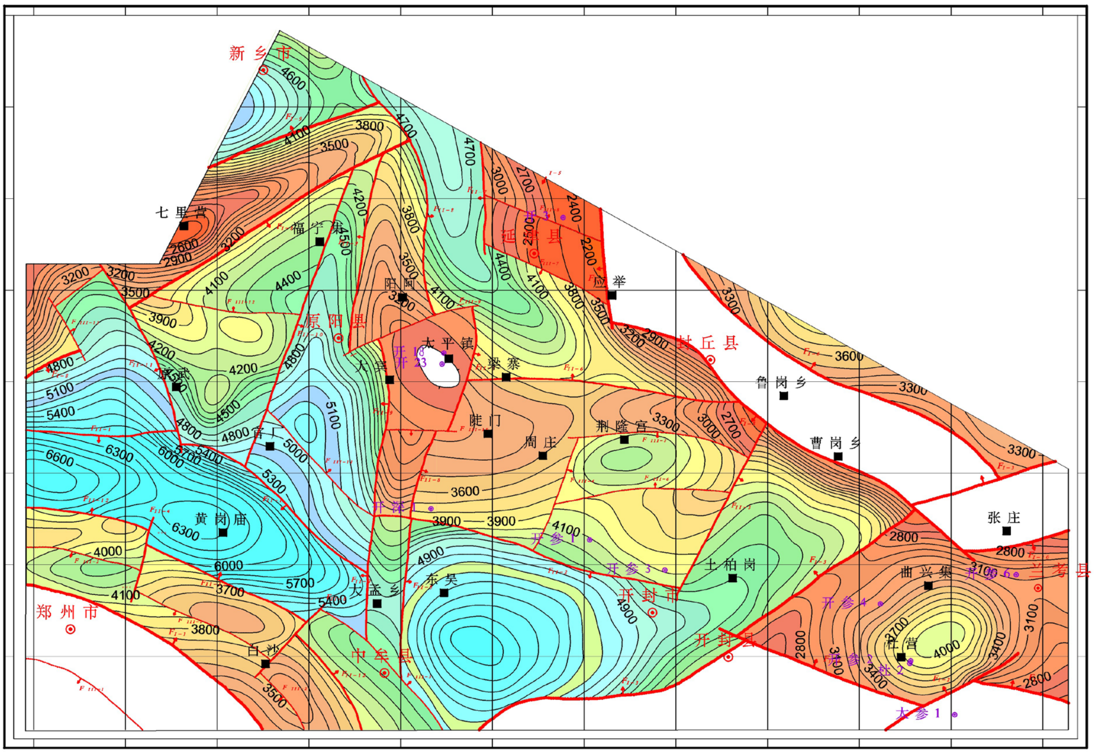


Figure 5. Isobath-map of the second-density interface
图 5. 第二密度界面等深度图

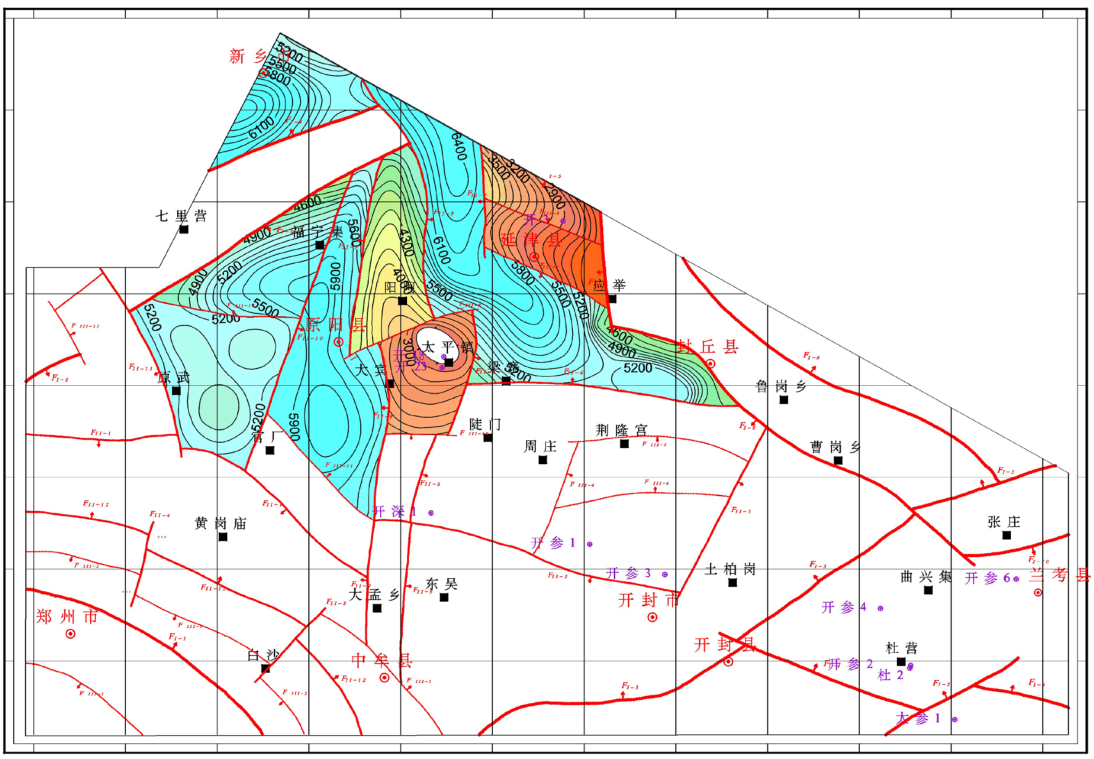


Figure 6. Isobath-map of the third-density interface
图 6. 第三密度界面等深度图

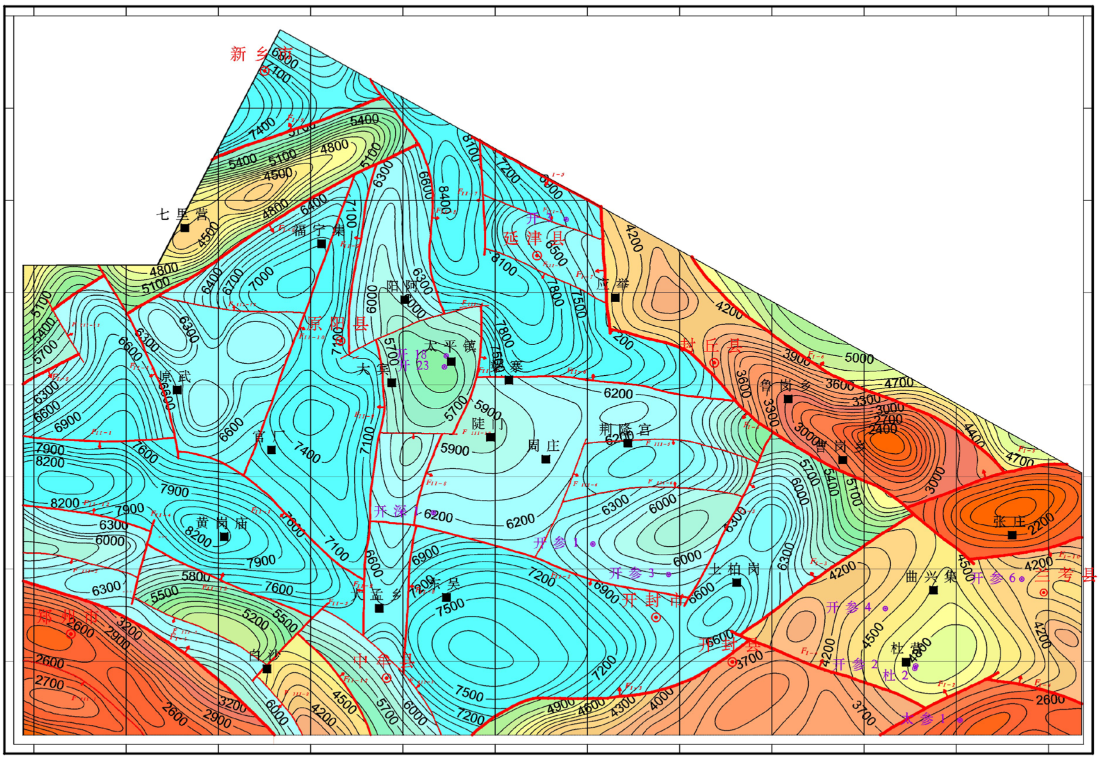


Figure 7. Isobath-map of the fourth-density interface

图 7. 第四密度界面等深度图

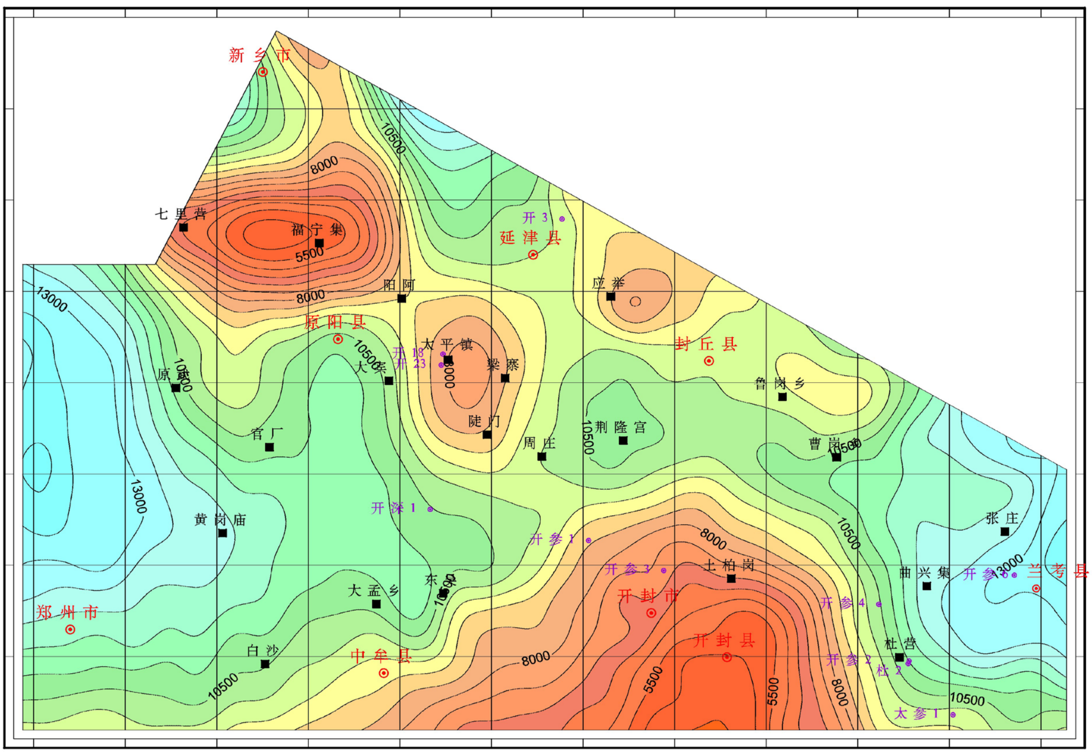


Figure 8. Isobath-map of magnetic basement

图 8. 磁性基底等深度图

该磁性基底隆升区向北延伸。将其与布格重力剩余异常图对比可知，该区的磁性基底圈闭高点与布格重力剩余异常形态相似，表明重、磁同源。

通过对密度界面及磁性基底埋深计算成果的分析，对测区的地质结构有如下认识：

1) 各密度界面的起伏变化与区内的地质构造运动，特别是断裂的活动密切相关；

2) 由深层到浅层，各界面的形态由复杂到简单，宏观上表现为四周高、中间低，中牟凹陷内界面东升西降、南抬北掉；

3) 由密度界面反演成果可知，太康隆起、兰考凸起之上，新近系直接覆盖于上古生界(含三叠系)之上，缺失古近系、侏罗系；黄岗庙洼槽、东吴洼槽、杜营洼槽为古近纪断陷，延津洼槽、原阳洼槽为侏罗纪断陷；

4) 由各界面图对比可知，新近系中部厚、四周薄；古近系在凹陷区分布较厚，在基底凸起区变薄，宏观上北薄南厚，由东向西加厚，说明古近系沉积中心位于中牟凹陷区的南部；侏罗系主要分布于原阳洼槽及延津洼槽，表明中生界的沉积中心位于测区的北部，从侏罗纪到早古近纪沉积中心由北向南迁移；

5) 对比各密度界面可以看出，古近系内部及古生界构造发育，多为基底凸起的披覆性背斜构造，第三系内部地层的的掀斜隆起较为剧烈，中牟凹陷内各局部构造单元界面具有北高南低、东升西降的特征；

6) 磁性基底具有东西低、中部隆升的特征。

5. 综合推断解释成果

5.1. 断裂构造

通过对测区重磁力资料的处理及研究分析，在测区内推断断裂 35 条(图 9)，其中 I 级断裂 10 条，II 级断裂 12 条，III 级断裂 13 条。

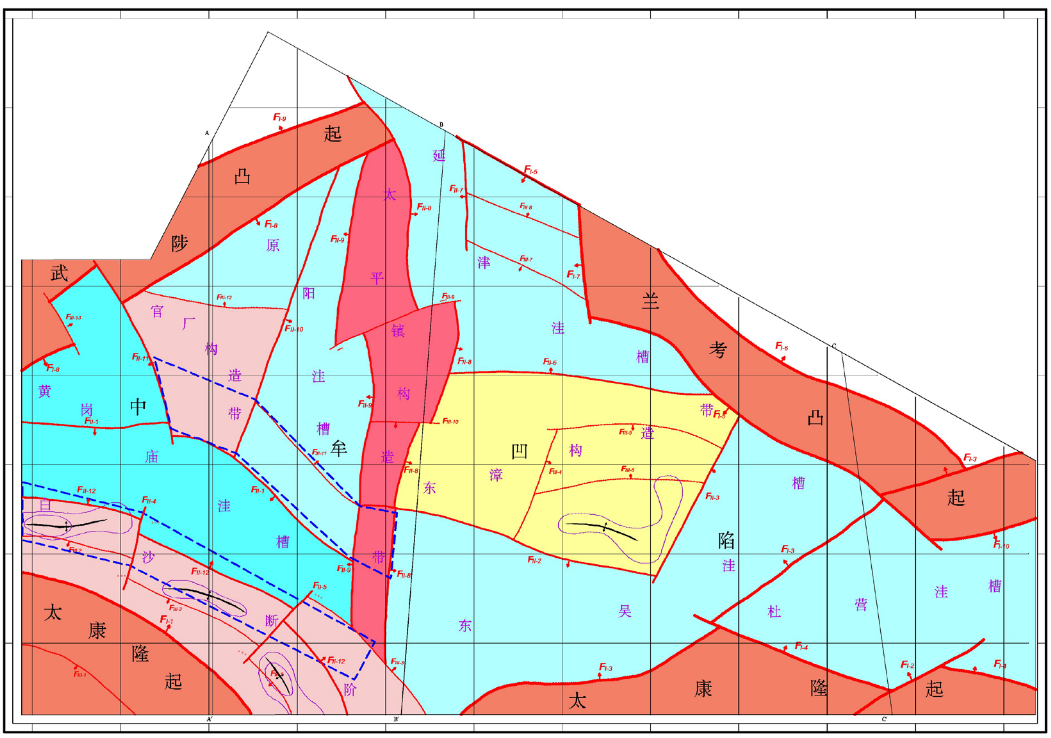


Figure 9. Faults Inference map
图 9. 断裂推断成果图

5.2. 构造单元划分

通过重磁力资料的研究分析，根据重磁力场的变化特征，结合对研究区地质构造的认识，在研究区划分出武陟凸起、兰考凸起、太康隆起、中牟凹陷共 4 个一级构造单元。在中牟凹陷内划分出原阳洼槽、太平镇构造带、延津洼槽、官厂构造带、东漳构造带、黄岗庙洼槽、白沙断阶、东吴洼槽 8 个次级构造单元(图 9)，将杜营洼槽从中牟凹陷内单独分出。各构造单元的范围如下：

武陟凸起：由断裂 $F_{I\text{-}9}$、$F_{I\text{-}8}$、$F_{III\text{-}13}$、$F_{II\text{-}11}$、$F_{II\text{-}8}$ 及工区边界围成的范围；

兰考凸起：由断裂 $F_{I\text{-}7}$、$F_{I\text{-}5}$、$F_{I\text{-}10}$ 及工区边界围成的范围；

太康隆起：由断裂 $F_{I\text{-}1}$、$F_{I\text{-}3}$、$F_{I\text{-}2}$、$F_{I\text{-}4}$ 及工区边界围成的范围；

中牟凹陷：由武陟凸起、兰考凸起及太康隆起围成的范围；

杜营洼槽：由断裂 $F_{I\text{-}10}$、$F_{I\text{-}5}$、$F_{I\text{-}3}$、$F_{I\text{-}4}$、$F_{I\text{-}2}$ 及工区边界围成的范围；

原阳洼槽：由断裂 $F_{I\text{-}8}$、$F_{III\text{-}12}$、$F_{II\text{-}10}$、$F_{II\text{-}11}$、$F_{II\text{-}9}$ 围成的范围；

太平镇构造带：由断裂 $F_{I\text{-}8}$、$F_{II\text{-}9}$、$F_{III\text{-}9}$、$F_{II\text{-}8}$、$F_{III\text{-}10}$ 围成的范围；

延津洼槽：由断裂 $F_{II\text{-}8}$、$F_{III\text{-}9}$、$F_{II\text{-}6}$、$F_{I\text{-}5}$、$F_{I\text{-}7}$ 及工区边界围成的范围；

官厂构造带：由断裂 $F_{I\text{-}8}$、$F_{II\text{-}11}$、$F_{II\text{-}10}$、$F_{III\text{-}12}$ 围成的范围；

东漳构造带：由断裂 $F_{II\text{-}8}$、$F_{II\text{-}2}$、$F_{II\text{-}3}$、$F_{I\text{-}5}$、$F_{II\text{-}6}$ 围成的范围；

黄岗庙洼槽：由断裂 $F_{II\text{-}12}$、$F_{II\text{-}4}$、$F_{II\text{-}5}$、$F_{II\text{-}9}$、$F_{II\text{-}1}$ 及工区边界围成的范围；

白沙断阶：由断裂 $F_{II\text{-}12}$、$F_{II\text{-}4}$、$F_{II\text{-}5}$、$F_{III\text{-}3}$、$F_{I\text{-}1}$ 及工区边界围成的范围；

东吴洼槽：由断裂 $F_{I\text{-}3}$、$F_{I\text{-}5}$、$F_{II\text{-}3}$、$F_{II\text{-}2}$、$F_{II\text{-}8}$、$F_{III\text{-}3}$ 及工区边界围成的范围。

5.3. 油气勘查的有利地段

对一个地区进行含油气评价，要从油气的生、储、盖、运、保等方面进行，笔者从是否有深凹陷、凹陷内及其周边是否有储油的正向构造(断凸、背斜)进行分析。据重、磁推断解释成果及对该区构造特征的认识，推断该区油气勘查方向应由东向西转移，将西部的黄岗庙洼槽及周边地区作为油气勘查的重点地区。其依据如下：

黄岗庙洼槽深度大，古近系厚 4000~5000 m，形成早、结束晚，发育时间长，推断主力生油层沙四段、沙三段比较发育；沙三段、沙四段的埋深在 4000 m 以下，进入了有利的生油门限；凹陷周边断凸、背斜构造发育，应是油气运移的首要指向区，凹陷北侧为官厂构造带，存在多处圈闭构造高点；凹陷南侧的白沙断阶上的断块潜山、背斜构造发育，但其勘探目的层埋深较大；白沙断阶最为有利，应列为第一勘探对象，如果有所突破，第二步应对官厂构造带的南部构造高点实施钻探，在取得成效之后，勘探可在官厂一带进行。

6. 几个问题的探讨

6.1. 对太平镇构造的认识

前人的研究成果表明，太平镇构造带为中牟凹陷内最为明显的正向构造，构造范围大，总面积约为 240 km^2，东西两侧均为断裂控制，基底埋深较延津洼槽、原阳洼槽高出 2000 m 以上。本次磁力勘探中的磁力高的形态、范围、位置与前人对太平镇构造的勘探成果大体一致，但太平镇构造带的构造形态、长轴展布方向、构造范围及凸起的形成发育与前人的认识有所不同。

由钻井资料可知：开 18 井(井深 3352.35 m)、开 23 井(井深 3450.00 m)钻探证实，在凸起区古近系较薄。开 23 井揭示新近系底 2644.5 m，缺失古近系，以下见有百余米的侏罗系，2769 m 以下为三叠系；

开 18 井揭示新近系底 2616.5 m，其下为古近系(视厚 477 m)、白垩系(视厚 258.85 m)。

太平镇构造带呈南北走向，长约 40 km，东西宽约 5~10 km，东西两侧均以南北向的断裂为界，东界为 F_{II-8} 断裂，东临延津洼槽，西界为 F_{II-9} 断裂，西接原阳洼槽。凸起主体位于太平镇附近，向南、北两端基底呈斜坡状降低、埋深增大，宽度变窄、凸起的整体平面形态如一个“枣核”形，由于受到 F_{III-9} 平移断裂的作用，凸起南、北两端平移约 5 km。

凸起的主体部位，缺失古近系和侏罗系－白垩系，仅在围斜部位残留有数百米厚的古近系、侏罗系，新近系直接覆盖于三叠系之上。在凸起(F_{III-9} 断裂)北，各界面由南向北倾没，侏罗系底界埋深由阳阿的 3800 m 到最北端增大为 4800 m，古近系底界由 3000 m 向北降低为 4100 m，侏罗系、古近系逐渐增厚；在凸起(F_{III-10} 断裂)南部，古近系底界埋深由北向南逐渐增大，F_{III-10} 断裂处埋深 2900 m，最南端大孟乡附近古近系底界埋深 4700 m，古近系直接覆盖于上古生界(含三叠系)之上，缺失侏罗系。

凸起东界 F_{II-8} 断裂断距 1000~2000 m，断距北部大，南部小；断裂东侧的延津洼槽中侏罗系厚约 2000 m，古近系厚约 2000 m；凸起西界 F_{II-9} 断裂断距 500~1000 m，断距南部大，北部小，与 F_{II-8} 断裂相反；在断裂西侧的原阳洼槽中，侏罗系厚约 1000 m，古近系厚约 2000 m。

由磁力 ΔT 化极磁力异常平面图及布格重力异常平面图上可以看出，太平镇构造带主体部位既为明显的重力高，又为磁力高异常区，表明重、磁异常同源，为基底(包括具磁性的太古界)凸起区。通过对比分析，认为太平镇构造带为周边凹陷形成之前已经存在的古老构造，其理由如下：

1) 太平镇构造带呈南北向展布，与后期发育的北东、北西向凹陷构造不一致；

2) 构造带最高部位，侏罗系、古近系残余厚度较薄或缺失；

3) 构造带两侧南北向的断裂多处阻断了北西或北东向断裂的延伸，如(在古固寨附近)断裂 F_{II-8} 阻断了 F_{I-8}、F_{I-9} 断裂向北东方向的延伸。由此可见，凸起两侧南北向断裂生成较早，北东向、北西向断裂生成较晚；

4) 构造带主体部位既是重力高，又是磁力高，表明该构造形成过程中，太古界磁性基底亦卷入到该构造之中。

推断太平镇构造带形成于三叠纪末，受东西向挤压形成南北向的背斜构造，磁性基底为背斜的核部。侏罗纪及早古近纪断陷时期，因受两侧南北向断裂的控制作用，致使原阳洼槽、延津洼槽由北东、北西向延伸成为南北向延伸。同时，两侧南北向的断裂受边界主控断裂左行走滑扭动的影响，使太平镇构造发生平移错位；F_{II-8} 断裂断距北大南小，F_{II-9} 断裂断距北小南大。

6.2. 中牟凹陷的东南边界及杜营洼槽的归属问题

据重力场的变化特征、断裂构造分布、重力剖面推断解释成果及密度界面反演成果，认为中牟凹陷的东南边界应以 F_{I-3} (开封)断裂为界，将杜营洼槽从中牟凹陷中分离出来，成为一个独立的次凹。其依据为：

1) 从布格重力异常平面图(图 1)上可以看出，杜营重力低位于重力场值较高部位，在上延布格重力异常平面图上，随着上延高度的增大，该重力低圈闭很快消失，而西部黄岗庙重力低、东吴重力低仍有明显的反映，表明杜营洼槽古近系底埋藏深度较浅，杜营洼槽是在基底隆起之上形成的一个局部浅次凹；

2) 南部凹陷带的生成与南部边界断裂的活动相关。推断西南部的 F_{I-1} (郑州)断裂活动早，次之为 F_{I-3} (开封)断裂、F_{I-2} (杨庄)断裂；F_{I-1} (郑州)断裂形成早，断距大，活动时间长，而 F_{I-2} (杨庄)断裂形成晚，活动时间短；杜营洼槽受 F_{I-4} 断裂、F_{I-2} (杨庄)断裂、F_{I-3} (开封)断裂及 F_{I-5} (封丘)断裂所控制，形成独立的“菱”形凹陷；

3) 由密度界面反演成果(图 5、图 6、图 7、图 8)可知，南部凹陷带基底埋深由东向西增大，黄岗庙

洼槽古近系底埋深约 6700 m，东吴洼槽古近系底埋深 5700 m，杜营洼槽古近系底埋深 4000 m；黄岗庙洼槽古近系比杜营洼槽厚 3000 m，东吴洼槽古近系比杜营洼槽厚 1700 m，推断西部凹陷内古近系增厚的主要原因为孔店组、沙四段、沙三段较为发育。

4) 由表 1 的钻井分层数据对比可知：由东向西，各地层界面埋深增大，地层增厚，缺失地层逐渐减少。东部古近系上部东营组、沙一段、沙二段缺失，而西部开参 1 井、开深 1 井未缺失；东部开参 6 井 3075 m、开参 4 井 3304.5 m 已见沙四段底，西部开参 3 井 3843 m 未钻穿古近系沙四段。同时分布于杜营洼槽内的中 1 井、杜 2 井古近系上部东营组、沙一段缺失由此推断西部(黄岗庙洼槽、东吴洼槽)凹陷形成早、结束晚，东部杜营洼槽形成晚、结束早。

6.3. 开深 1 井是否存在较厚的孔店组？

据开深 1 井完井报告(1982 年 10 月)中的分层数据可知，在沙二段之下，井深 3816~5608 m 之间，地层定为孔店组，视厚度 1792 m，岩性为紫色泥岩、浅紫、浅灰、灰色细砂岩、粉砂岩互层。根据重力场特征及剖面正演计算结果，推断它不是孔店组，应为三叠系，其理由如下：

1) 在布格重力异常平面图(图 1)上，重力场值由南向北增大，在布格重力剩余异常平面图(图 2)上未见因低密度体(孔店组密度取值 2.40 g/cm^3)增厚所引起的局部重力低异常；

2) 由重力剖面正演计算成果(图 10)可以看出，如将 2.40 g/cm^3 低密度体的下界降到 5000 m 之后，重力正演曲线与原布格场差异较大。正演重力曲线由北向南快速下降，但实测重力曲线变化平缓，未有明显的重力低，二者相差约 6×10^{-5} m/s^2；

3) 本区凹陷的生成与该区断裂的活动密切相关，开深 1 井位于 F_{II-2} 断裂的上升盘，开深 1 井附近未见明显的断裂，因而推断其不可能为孔店组，应为三叠系。

6.4. 中牟凹陷的西南边界

据重力场的变化特征、断裂构造及密度界面反演成果，推断中牟凹陷的西南边界以 F_{I-1} 断裂为界，西南边界向西南推移了约 10 km，而不是前人所说的 F_{II-12} (中牟)断裂的位置。

从布格重力异常平面图(图 1)可以看出，在中牟与郑州之间为布格重力梯级带，梯级带呈疏密相间分布，重力场呈阶梯式抬升；在布格重力剩余异常平面图上，正、负异常呈北西向的条带状相间展布，表明中牟－郑州之间的宽大重力梯级带应为一断阶，重力推断解释成果(密度界面反演)表明(白沙)断阶上存

Table 1. The tertiary drilling stratified data contrast table
表 1. 新生界钻井分层数据对比表

井位 / 地层	开参 6	开参 4	开参 2	开参 3	开参 1	开深 1	中 1	杜 2
平原组	203.5	236.5	275	308	311.5	318	233	266
明化镇组	1284	1548.5	1464	1914	1849	2157.5	1127.0	1454
馆陶组	1951	2202.5	2085	2547	2456	2765	2040.0	2076.5
东营组	缺失	缺失	缺失	缺失	2834	3000	缺失	缺失
沙一段	缺失	缺失	缺失	2924.5	3212 未穿	3348	缺失	缺失
沙二段	缺失	2598.5	2670	3315	3212 未穿	3816	2324.0	2637
沙三段	2697	2999	3415.17 未穿	3843 未穿	3212 未穿	缺失	3203.0	2991
沙四段	3075	3304.5	3415.17 未穿	3843 未穿	3212 未穿	缺失	3801.79 未穿	3802 未穿

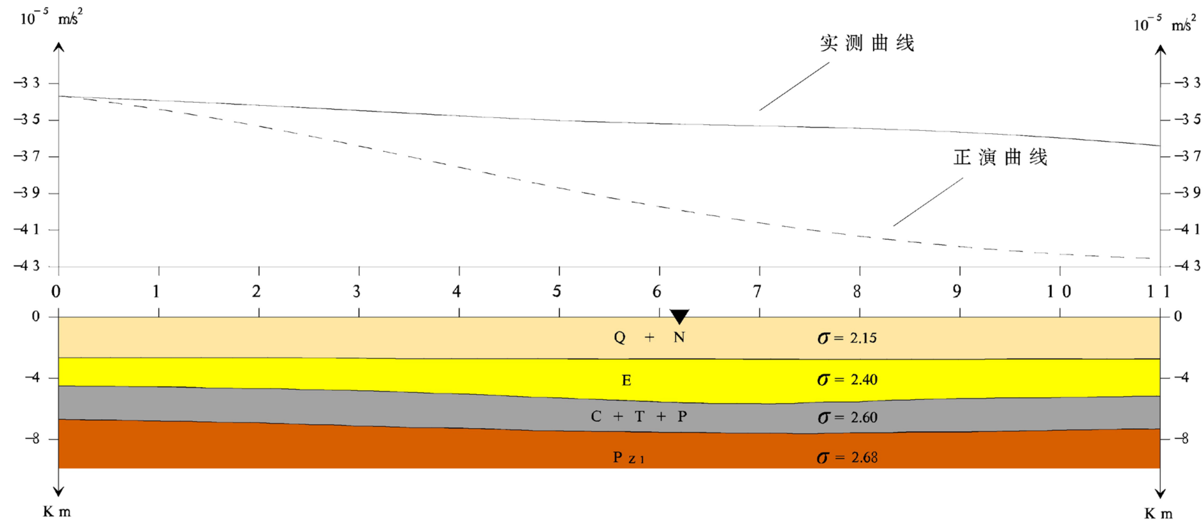


Figure 10. Profile fitting graph of the first well
图 10. 开深 1 井剖面拟合图

在古近系，认为(白沙)断阶应归入中牟凹陷，中牟凹陷的西南边界以 F_{I-1}(郑州)断裂为界[3]。

6.5. 凹陷形态呈“多”字形，具有拉分盆地的特征

由布格重力异常平面图(图 1)及布格重力剩余异常平面图可以看出，中牟凹陷受北东、北西向两组断裂的主要控制，构造位置处于北东与北西向两组构造的交汇部位，除上述两组构造外，还存在东西向和南北向的构造。南北向及东西向构造属于华北地台的古构造成份，侏罗纪及以后的构造(断陷)发育时期，其主控断裂重新活动，但一般不构成凹陷形成、发育的主控断裂。由上述多组断裂控制的走滑拉分，中牟凹陷与东南延伸的杜营洼槽、民权凹陷呈现为“多”字形。

在区域布格重力剩余异常平面图(图 11)上可以看出：中牟重力低四周被重力高“菱”形环绕。东北部东濮凹陷、内黄隆起及汤阴凹陷的断裂具有北西方向凸出的弧形弯曲特征，西南部太康隆起区的断裂具有北东弧形弯曲的特征。由此推断，在左行扭动力的作用下，鲁西隆起向西滑动、太康隆起向东滑动，形成了夹持于二者之间的一系列拉分盆地(凹陷)。

7. 中牟凹陷的构造特征[4] [5]

7.1. 边界断裂“左行走滑拉分”是中牟凹陷形成的主导因素

由布格重力异常平面图及研究区的断裂展布可以看出，中牟凹陷具有独特的构造特征。凹陷的生成受到北东、北西向两组断裂的控制，整体形态呈东西长、南北窄的“菱”形，它与华北盆地呈北东向条带状凹、凸相间的构造格局存在着明显的差异，同时亦与南华北盆地近东西向的长条形“盆岭”相间、以岭为主的构造格局有所不同。

中牟凹陷的西北边界为 F_{I-8} (七里营)断裂，大致沿祝楼－朗公庙一线呈北东向展布，断裂北西侧为武陟凸起，东南下降盘为原阳洼槽，北东端(古固镇一带)被太平镇构造带东侧南北向的断裂所截断；中牟凹陷的东北边界为 F_{I-5} (封丘)断裂，沿曹岗乡－封丘－应举一线呈北西向展布，断裂东北侧为兰考凸起，西南下降盘为延津洼槽；中牟凹陷的西南边界为 F_{I-1} (郑州)断裂，在郑州北约 4 km，呈北西西向展布，断裂西南侧为太康隆起，东北侧为黄岗庙洼槽、东吴洼槽；东南边界为 F_{I-3} (开封)断裂，将东吴洼槽和杜营洼槽分隔。

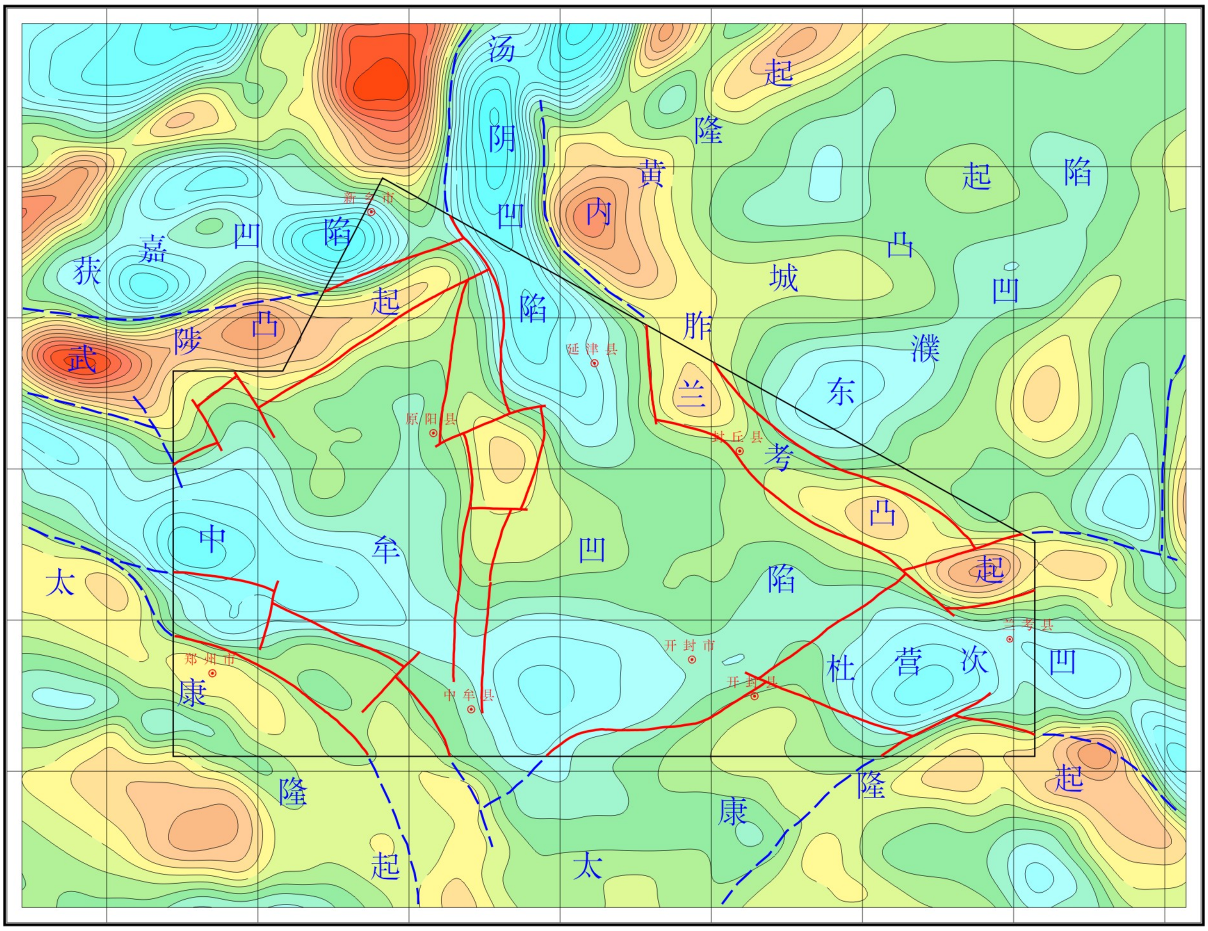


Figure 11. Planar map of region bouguer gravity residual anomaly
图 11. 区域布格重力剩余异常平面图

数条边界断裂所围限的中牟凹陷整体形态呈东西长(约 100 km)、南北窄(约 50 km)的“菱”形，构造格局为“多”字形。中牟凹陷原形盆地生成于中生代，其与地块相对滑移及北东、北西向边界断裂在共轭剪切力的作用下左行走滑拉分相关，其动力来源于郯庐断裂在中生代的强烈活动及左行平移错位，华北盆地南北块体相对位移，形成了沿断裂走滑拉分的中牟凹陷。

早古近纪中牟凹陷南部边界主控断裂 F_{I-1} (郑州)断裂、F_{I-3} (开封)断裂强烈活动，在中牟凹陷南部先后形成了黄岗庙洼槽、东吴洼槽、杜营洼槽。中牟凹陷周边受北西、北东两组断裂所限，且次级凹陷中心靠近边界断裂，凹陷的展布方向与断裂走向一致。由此可见，边界断裂的活动是本区凹陷生成的主导因素。

7.2. 中牟凹陷从中生代(侏罗纪)到早古近纪，沉积中心由北向南迁移

前人的地质研究成果表明，中牟凹陷的南部和北部地层结构不尽相同。北部原阳洼槽、延津洼槽，断陷时期的沉积层主要为侏罗系，古近系厚约 2000 余米或更小，侏罗系厚 1800~2000 m；南部黄岗庙洼槽、东吴洼槽、杜营洼槽内侏罗系缺失，古近系厚 2000~4000 m。

大致以封丘－梁寨－原武一线为界，中牟凹陷南北存在着不同的演化史。侏罗纪受郯庐断裂的强烈活动及左行走滑影响，地块相对滑移，沿 F_{I-8} (七里营)断裂、F_{I-5} (封丘)断裂左行走滑拉分，在断裂内侧的下降盘形成断陷；同时，太平镇南北向背斜构造两侧边界断裂(受扭动)重新复活，致使原阳洼槽、延津洼槽呈现为南北向的延伸；侏罗纪，中牟凹陷的中南部(封丘－原武东西一线以南)则属于太康隆起的一部

分，相对处于上升遭受剥蚀状态。早古近纪，F_{I-1} (郑州)断裂、F_{II-12} (中牟)断裂及 F_{I-3} (开封)断裂、F_{I-4} 断裂相继强烈活动，在断裂内侧下降盘形成了黄岗庙洼槽、东吴洼槽、杜营洼槽，此时中部及北部相对较高，F_{I-8} (七里营)断裂、F_{I-5} (封丘)断裂及太平镇构造带两侧南北向的断裂活动减弱。

经过研究分析，推断中牟凹陷南北边界断裂活动和沉积历史存在着明显差异，侏罗纪断裂活动北强南弱，沉积地层具有北断南超的性质，早古近纪断裂活动南强北弱，地层南断北超。也就是说，侏罗纪沉积中心位于研究区北部，而早古近纪沉积中心位于研究区南部，从侏罗纪到早古近纪沉积中心由北向南迁移。

7.3. 南部凹陷为南断北超的“箕”形凹陷，具有西深、东浅的特征

南部凹陷带包括黄岗庙洼槽、东吴洼槽及杜营洼槽，总体上呈近东西向展布，各次凹的生成与发育的主要时期为早古近纪。黄岗庙洼槽受 F_{I-1} (郑州)断裂的控制；东吴洼槽受北东向 F_{I-3} (开封)断裂及北西向 F_{III-3} 断裂的双重控制，并沿开封断裂呈北东向伸长；杜营洼槽受北东向 F_{I-2} (杨庄)断裂控制。

由布格重力异常平面图(图 1)可知，南部凹陷带，重力场值由南向北逐渐增大，南侧为密集的重力梯级带，场值梯度变化较大，而北侧重力等值线相对稀疏、梯度变化较小，重力场的这种变化特征，充分揭示了南部凹陷带南断北超的“箕”形形态。

由布格重力异常平面图(图 1)上可以看出，黄岗庙洼槽的布格重力场值最低，为-42×10^{-5} m/s^2，东吴洼槽内为-39×10^{-5} m/s^2，杜营洼槽内约为-30×10^{-5} m/s^2，由此推断西部低密度体厚度大、基底埋深较大，而东部低密度体厚度小，基底埋深较浅；

从布格重力异常平面图(图 1)上可以看出，由西向东重力值增大，但存在 3 个南北向的台阶。大宾－大孟乡为第一台阶，西部重力值小于-40×10^{-5} m/s^2；开封－荆隆宫－应举形成了第二个重力值变化台阶，西部重力值小于-35×10^{-5} m/s^2；东部重力值大于-35×10^{-5} m/s^2。由此推断凹陷内的基底(包括三叠系以前的所有地层)由西向东呈台阶式的抬升，也反映了凹陷带西深、东浅的构造特征。

7.4. 中牟凹陷中部在构造演化过程中始终为隆起区

中牟凹陷的中部系指封丘－梁寨－大宾一线以南、开参 3 井－东漳－官厂一线以北的大片范围。

密度界面反演成果及重力剖面推断解释成果表明：该区域在侏罗纪及早古近纪均为隆起区，周边被沿边界断裂所形成的断陷区所环绕。在中部隆起区古近系厚约 1000~2000 m，其下伏三叠系顶界埋深 3300~4000 m。古近系底界面起伏变化较大(图 5)。最明显的局部构造为开参 1 井－开参 3 井一带的背斜构造及周庄－陡门－东漳一带的基底凸起，与前人地震勘探推断的断凸、断鼻构造位置一致，但形态、范围略有差异。最明显的洼陷位于荆隆营之南，其生成与南降北抬的小断裂有关，荆隆营凹陷内的古近系比周围厚度增加约 400 m。封丘－梁寨－大宾一线，是侏罗纪原形拉分盆地的南部边界，中部隆起区部分缺失侏罗系；早古近纪，中部隆起区呈北高南低的斜坡，古近系南厚北薄、层层超覆，F_{II-2} 断裂以南进入东吴洼槽。

8. 中牟凹陷的生成演化

通过重力资料的解释及断裂构造的划分，推断中牟凹陷是在古生界地台长期遭受剥蚀的基础上，中生代因边界断裂左行走滑拉分形成原形拉分盆地，早古近纪早期因南部边界断裂强烈活动形成断陷。其构造演化分为以下三期：

8.1. 侏罗纪－拉分盆地的形成时期

侏罗纪凹陷的北部边界断裂 F_{I-8} (七里营)断裂、F_{I-5} (封丘)断裂强烈活动并左行走滑拉分，太平镇构

造带两侧的南北向主控断裂复活，形成了延津洼槽及原阳洼槽，此时，侏罗纪的原形拉分盆地形成。

8.2. 早古近纪－断陷期

早古近纪 $F_{I\text{-}1}$ (郑州)断裂、$F_{II\text{-}1}$ (中牟)断裂、$F_{I\text{-}3}$ (开封)断裂、$F_{I\text{-}2}$ (杨庄)断裂先后强烈活动，北部断裂活动微弱，形成早古近纪断陷，南部凹陷带即在此期形成。

8.3. 晚古近纪－第四纪－坳陷期

晚古近纪，边界断裂活动微弱，本区进入了坳陷期，整体大面积沉降，接受较厚的新近系沉积，新近系与其下伏地层不整合接触。

第四纪，断裂活动终止，进入全面坳陷期。新近系及第四系不整合于各个老地层之上，覆盖了盆地内所有的“堑”式和“垒”式构造，形成了现今的黄河平原。

9. 取得的主要成果

通过对重磁力资料的处理及对布格重力异常、布格重力剩余异常、布格重力垂向二阶导数异常、下延不同高度的布格重力异常、化极磁力 ΔT 异常、化极磁力 ΔT 剩余异常、化极磁力 ΔT 垂向二阶导数异常及上延不同高度的化极磁力 ΔT 异常等基础图件的综合对比、分析，结合已有的地质、钻井、地震资料的综合研究，取得了以下主要成果：

1) 推断基底构造的起伏变化是引起布格重力场变化的主导因素，重力场的变化特征揭示中牟凹陷具有拉分盆地的特征。

2) 在区内推断断裂 35 条，其中 I 级断裂 10 条，II 级断裂 12 条，III 级断裂 13 条。I 级断裂构成测区的主要构造格架，北东向、北西向边界主控断裂的走滑拉分是中牟凹陷生成的主导因素。它们的生成、发展对中牟凹陷的形成、发展、演化起着主要的控制作用。II、III 级断裂对测区的构造发展、演化亦有一定的控制作用，构成或分割凹陷内部次级构造单元的分界线，它们对测区局部构造的形成、发育及油气运移起着控制作用。中牟凹陷的南部边界确定为 $F_{I\text{-}1}$ (郑州)断裂、$F_{I\text{-}3}$ (开封)断裂，将杜营洼槽从中牟凹陷中独立分出，其与前人的认识有所不同。

3) 圈定局部重力异常 55 个，其中局部重力高异常 35 个，局部重力低异常 20 个。通过研究分析，推断基底凸起类异常 16 个，基底断凸类异常 10 个，背斜构造类异常 4 个，古近系内部构造类异常 5 个。

4) 推断中牟凹陷的发育过程中，南北具有不同的发育史。侏罗纪沉积中心位于测区的北部，而南部与太康隆起连为一体，北部凹陷的生成与 $F_{I\text{-}8}$ (七里营)断裂、$F_{I\text{-}5}$ (封丘)断裂的走滑拉分相关；早古近纪的沉积中心位于中牟凹陷的南部，而北部新近系为超覆沉积，南部凹陷的生成与 $F_{I\text{-}1}$ (郑州)断裂、$F_{I\text{-}3}$ (开封)断裂的强烈活动相关。从侏罗纪到古近纪沉积中心由北向南迁移，而中部(东漳构造带一带)始终为一隆起区。

5) 中牟凹陷为南断北超的“箕”形凹陷，具有西深、东浅，西部次凹形成早、结束晚，东部凹陷形成晚、结束早的构造发育特征。

6) 利用重力资料并结合地质、钻探资料，反演计算了新近系底、古近系底、侏罗系底、上古生界(含三叠系)底四个密度界面。这些密度界面从宏观上反映了基底构造及上覆主要沉积层的起伏变化，同时亦反映了各层位之间的纵向联系，测区的凹凸分布、凹陷深度及各时期现今的地质结构形态有了宏观的显示。

7) 推断该区油气勘查方向应由东向西转移，黄岗庙洼槽周边地区应为今后油气勘探的重点区，在区内划分出两处有利油气聚集的区带，其一为白沙断阶，其二为官厂构造带。

10. 结论建议

在油气勘查工作，首先应重视含油气盆地的前期论证研究工作，加强含油气盆地的构造演化及油气地质研究工作，为油气勘查工作部署提供依据；其次应重视重磁勘探在油气勘查工作中的地位，重磁勘探在查明含油气盆地的断裂构造、地层结构、构造发育特征及油气的生、储、运、保条件，圈定目标靶区方面具有独特的优势；在上述工作基础上，在油气勘查的有利地段部署地震、钻探工作，达到事半功倍点的效果。

在后续的油气勘探工作中，根据重磁勘探成果，业主在白沙断阶部署了地震勘探工作，并进行了钻探验证，钻井得到了油气显示[6]。

参考文献 (References)

[1] 钟本善, 等. 重力勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1983.

[2] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

[3] 重力勘探资料解释手册编写组. 重力勘探资料解释手册[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[4] 李叔达, 等. 动力地质学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1983.

[5] 成都地质学院. 大地构造学基础及中国区域构造概要[M]. 北京: 地质出版社, 1983.

[6] 姜夫爵, 等. 南华北探区中牟凹陷重力勘探成果报告[R]. 2003.