

中国塔里木盆地北部 油气地质研究

第三辑 物化探和钻井

贾润骨 主编

中国地质大学出版社

目 录

塔里木盆地东北地区磁场及其地质构造特征·····	乔日新 (1)
高精度重力测量在油气勘探中的应用·····	侯卫国 刘森严 (9)
塔里木盆地东北地区航磁反映的断裂构造特征及其与油气分布关系·····	乔日新 (19)
纵波和转换波联合勘探·····	王维佳 黄中玉 徐亦鸣 何晓冬 (26)
重力实测精度对导数及归一化总梯度的影响·····	刘森严 (34)
利用虚测井资料预测塔东北地区岩性和油气·····	王成彬 周骥康 (44)
塔里木盆地东北地区几个典型重力异常的正演探讨·····	王新维 (51)
塔里木盆地东北部-天山地区地电结构初探 ·····	詹 麒 (62)
塔东北地区 VSP 资料采集和处理中的几个问题探讨 ·····	雍凤军 (69)
一个大地电磁资料的新解释系统·····	詹 麒 (76)
塔里木盆地东北地区 VSP 资料的振幅信息分析 ·····	方伍宝 韩 震 (85)
化探/遥感油气预测技术在塔里木盆地北部的应用 ·····	邵 震 (90)
浅层酸解烃气地球化学方法在塔东北地区的应用效果 ·····	吴学明 王 福 (101)
塔东北沙雅隆起近地表化探勘查预测 ·····	龚维琪 (111)
顶空气轻烃化探法 ·····	李贵友 魏梅华 (126)
油气化探基础研究——塔里木盆地东北部油气垂直微运移证据 ·····	龚维琪 (136)
油气藏上方化探异常形成模式初探 ·····	苏江玉 (143)
沙雅隆起氮射气测量找油效果 ·····	李鹤庆 (147)
浅层土紫外吸收、分子荧光化探技术及其在塔里木盆地北部的应用 ·····	伍大俊 (153)
西北干旱区油气化探的一致性问题 ·····	孙忠军 (162)
ΔC 参数分析技术的改进及其在雅克拉地区圈定油气中的应用 ·····	虞泽民 (169)
油气普查中的 Hg 与 ΔC 测量——以塔东北地区为例 ·····	莫根生 宋 伍 王全国 (178)
油气化探多参数信息优化途径的探讨 ·····	毛道善 (189)

塔东北碳酸盐岩裂缝性储集层测井解释方法	李舟波 潘葆芝 沈金松 王全璋	(195)
不稳定试井分析方法的综合应用及实例	何晓东	(207)
塔东北地区钻头选型技术方法研究	路保平 张传进	(215)
塔东北地区平衡压力钻井技术的应用	赵锦栋	(223)
塔东北地区钻井工程数据库系统及其在钻井工程中的应用	李国华	(231)
固井工程计算机辅助设计 (CE-CAD) 系统分析	曾广平 马开华	(237)
漂珠低比重水泥浆及其在塔东北固井中的应用	曾义金 毛克伟	(244)
塔北兰尕异常体深部盐层钻井泥浆工艺	王树海 吴世恩	(251)
低胶高温降失水剂 SSP 性能及在沙 13 井的应用	周凤山 周洪芳	(260)
水泥浆流变学理论在塔东北地区固井设计中的应用	毛克伟 曾义金	(266)
DTR 堵漏剂在沙 13 井的应用	郭才轩 刘贵传 周洪芳	(273)

CONTENTS

Characteristics of magnetic fields and geological structures in Northeastern Tarim	Qiao Rizin (8)
High-precision gravity survey and its application to hydrocarbon exploration	Hou Weiguo Liu Senyan (18)
Characteristics of fault structures reflected by aeromagnetism in Northeastern Tarim Basin and the relation to hydrocarbon distribution	Qiao Rizin (25)
Compressional wave-converted wave joint prospecting	Wang Weijia Huang Zhongyu Xu Yiming He Xiaodong (33)
The effect of actual gravity measuring accuracy on derivative and normalized total gradient	Liu Senyan (42)
Prediction of lithology and hydrocarbons using synthetic acoustic log data in the Northeastern Tarim Basin	Wang Xianbin Zhou Jikang (50)
Discussion on forward model of several typical gravity anomalies in Northeastern Tarim Basin	Wang Xinwei (61)
Preliminary approach to geoelectrical texture in Northeastern Tarim-Tianshan Region	Zhan Qi (68)
Study on problems relating to VSP data acquisition and processing in Northeastern Tarim Basin	Yong Fengjun (75)
A new interpretation system of magnetotelluric data	Zhan Qi (84)
Analysis of information on amplitudes from VSP data in Northeastern Tarim Basin	Fang Wubao Han Zhen (89)
Application of geochemical exploration-remote sensing technique in hydrocarbon production of North Tarim Basin	Shao Zhen (100)
Application effect on geochemical method of shallow layer acidolysis hydrocarbon gas in Northeastern Tarim	Wu Xueming Wang Fu (110)
Near surface geochemical prospecting and predicting on the Shaya rise in the Northeastern Tarim Basin	Gong Weiqi (125)
Geochemical exploration method with light hydrocarbons in top space gas	Li Guiyou Wei Meihua (135)
A research with the basis of geochemical prospecting for oil and gas—Evidence for vertical micromigration of hydrocarbons in the Northeastern Tarim Basin	Gong Weiqi (142)
Preliminary approach to the formation model of geochemical anomaly over hydrocarbon pools	Su Jiangyu (146)
Oil exploring effect of He emanation in Shaya uplift	Li Heqing (152)

Geochemical exploration technique of ultraviolet absorbed and molecular fluorescent spectrum for surface soil and its application in North Tarim Basin	Wu Dajun (161)
Unanimous problem concerning hydrocarbon geochemical exploration in dry region of Northwestern China	Sun Zhongjun (168)
Improvement of ΔC parameter analytic technique and its application in enclosing hydrocarbon in Yakela Region	Yu Zimin (177)
Measurements of Hg and ΔC in hydrocarbon exploration—taking Northeastern Tarim Region as an example	Mo Gensheng Song Wu Wang Jinguo (188)
Discussion on optimization way of multi - parameter information in hydrocarbon geochemical exploration	Mao Daoshan (194)
Well log interpretation method for carbonate fracture reservoirs in North Tarim	Li Zhoubo Pan Baozhi Shen Jinsong Wang Quanzhang (206)
Comprehensive application and example of unstable well test analysis method	He Xiaodong (214)
Study on bit-type selecting technique of Northeastern Tarim Basin	Lu Baoping Zhang Chuanjin (222)
Study on balance pressure drilling technique in Northeastern Tarim Region	Zhao Jindong (230)
Data base system of well drilling engineering in Northeastern Tarim and its application	Li Guohua (236)
analysis of well cementation engineering-computer aided design (CE-CAD) system	Zeng Guangping Ma Kaihua (243)
Study of low - density cement paste with floating beads and its use in well - cementation in the Northeastern Tarim Basin	Zeng Yijin Mao Kewei (250)
Technology of drilling mud through deep salt beds below the Langa anomaly in the Northeastern Tarim Basin	Wang Shuhai Wu Shi'en (259)
Properties of low-colloid and high-temperature water-loss-decreasing agent SSP and its use in the well Sha-13	Zhou Fengshan Zhou Hongfang (265)
Application of rheology of cement paste to well cementation design in Northeastern Tarim Basin	Mao Kewei Zeng Yijin (272)
The use of leak-blocking agent DTR in the well Sha-13	Guo Caizuan Liu Guichuan Zhou Hongfang (276)

塔里木盆地东北地区磁场 及其地质构造特征

乔 日 新

(地质矿产部航空物探遥感中心, 北京)

本文首先探讨了磁场特征与基底岩相的关系, 认为区内三个不同的区域磁场, 是不同基底岩相构造的反映。其次是据磁场特征对库车山前拗陷的性质, 塔北隆起的特点、形成与发展, 阿瓦提断陷与满加尔拗陷的关系, 以及跃进1号凸起的存在与否, 都提出了新的看法。并分析研究了火山岩的分布规律、范围及其对寻找油气藏的重要意义。

本文依据塔东北地区历年5个测区的航磁测量结果, 经大量数据处理后进行二次成果研究。以航磁资料为基础, 结合其他物探、钻井及地质资料对盆地东北地区进行了综合性的探讨。研究区位于 $E79^{\circ}-88^{\circ}30'$, $N39^{\circ}-42^{\circ}$ 之间, 总面积 $21 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究中使用了塔西、塔东北、塔东、罗布泊及库尔勒等5个测区资料。测量中使用仪器除库尔勒区为磁通门磁力仪外, 其他均为核旋磁力仪, 前者灵敏度为 2.0 nT , 后者为 1.0 nT 。测量均方误差多在 $\pm 3.0 - \pm 4.0 \text{ nT}$ 之间。

一、盆地及周边地区岩石磁性的新发现

航磁资料的地质解释主要依据岩石磁性特征。前人曾对盆地及周边地区的岩石划分了四个磁性层, 即前震旦系、二叠系玄武岩、中侏罗统(库车北)和上第三系阿图什组及第四系西域砾岩。除前震旦系为区域性磁性层外, 其他均为局部磁性层。经对大量剖面岩石和钻井岩芯磁化率测定, 有三点新的发现。

1. 阿克苏地区测定的下二叠统不但玄武岩有磁性, 而且开派兹雷克组(P_{1kp})的粗砂岩、粉砂岩及部分凝灰岩也有一定的磁性。其磁性相对比较稳定, 平均磁化率为 $95 \times 10^{-5} \text{ SI (X)}$, 最大可达 $320 \times 10^{-5} \text{ SI (X)}$ 。

2. 阿参1、沙参1、沙11和满西1井的三叠系下统俄霍布拉克群及中统克拉玛依组的灰绿色粉砂岩、细砂岩都具有磁性, 磁化率多变化在 $100 \times 10^{-5} - 300 \times 10^{-5} \text{ SI (X)}$ 。

3. 库车北侏罗系下统的砂岩、泥灰岩具有较强的磁性, 平均磁化率值在 $1000 \times 10^{-5} \text{ SI (X)}$ 之上, 是引起库台克力克异常的主要因素, 这一发现证实了该异常并非侏罗系菱铁矿被煤层燃烧后变成磁铁矿所致。

二、磁场及基底岩相构造特征

塔东北地区磁场面貌, 大致可分成三个大的不同磁场区域, 即塔里木北部平静负磁场区、

塔里木中央纬向正异常带及库尔勒-辛格尔变化剧烈磁场区(图1)。三块不同面貌的磁场表明基底岩相构造有着本质的差异(图2)。

库尔勒-辛格尔变化剧烈磁场区有两个很突出的特点:一是在大部分面积上存在着强度较大的负异常带或负背景场;二是在负背景上叠加有规模、强度不大,但变化剧烈的局部异常。辛格尔断裂之北,已属南天山海西槽化基底,基岩以弱磁性为主。辛格尔断裂和孔雀河断裂

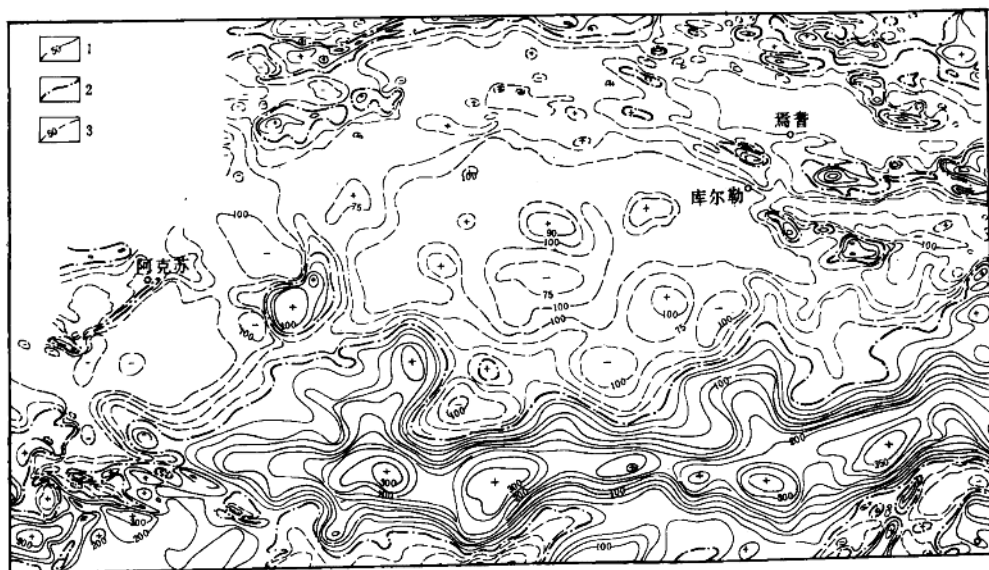


图1 塔东北地区磁场略图

Fig. 1 Sketch map showing the magnetic fields in Northeastern Tarim

1—正等值线, 2—零等值线, 3—负等值线, 单位为 nT

之间,是元古界基岩分布区。在弱磁性基底中,除有两块强磁性前震旦系基岩外,尚有许多不同时代的岩浆岩存在,主要为元古界变质花岗岩(γ_2),加里东期花岗岩(γ_3),海西期花岗岩(γ_4)及闪长岩、闪长花岗岩等,因此,该区的基底主要是由弱磁性基岩和岩浆岩共同构成。

塔北平静负磁场区磁场强度一般在 -100 — -150 nT左右,最大值可达 -175 nT。与之对应的广大地区是由绿色片岩系组成的中下元古界基岩构造区,岩性与盆地周边基本一致,主要为绿色片岩、石英片岩、千枚岩、大理岩、石英岩及各类片麻岩。负磁场中几个相对升高异常,除柯吐尔异常与海西中基性岩体有关外,其他均是中下元古界内幕中具磁性块体的反映。

塔里木中央纬向正异常带是一条极为醒目的高值异常带,磁场强度一般在 200 — 350 nT左右,最强处达 450 nT,视磁化强度变化在 800×10^{-3} — 1200×10^{-3} A/m之间。该带沿北纬 40° 之南呈东西向展布,宽约 50 — 80 km,长达 1100 km以上。它所反映的结晶基底,已是南塔里木古地台或古陆核的一部分^[1],由太古界-中下元古界强磁性结晶杂岩所构成,埋深在 15 — 20 km之间。据其高磁化强度推测,这种岩浆杂岩体应是壳幔混杂类型。形成时代,大致与南塔里木地块内的杂岩体同时或稍晚,最可能的形成时间为晚太古代到中元古代。

在东经 81° 之西的地区(图1),经海西运动改造后,基底岩相复杂化,除太古界-中下元

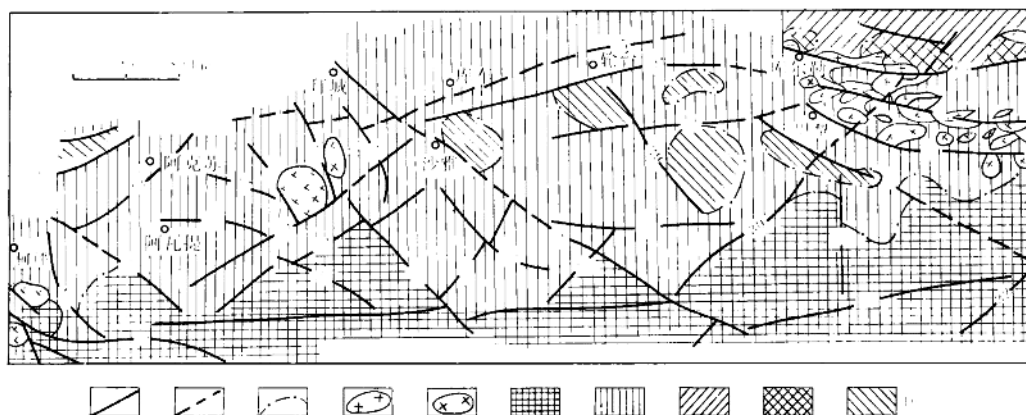


图2 塔东北地区基底岩相构造图

Fig. 2 Facies structures of basement rocks in Northeastern Tarim

1—断裂, 2—磁场特征不明显的断裂, 3—磁性基底岩相边界, 4—已知各种侵入岩体, 5—航磁推断的海西期中基性岩体, 6—太古界-中下元古界强磁性结晶基底, 7—中下元古界弱磁性基底, 8—天山海西槽化弱磁性基底, 9—前震旦系(包括部分海西中基性岩体)强磁性块体, 10—前震旦系具磁性块体

古界结晶杂岩外, 海西期中基性岩体也在此大量出现, 推测可能存在构造破碎带。

三、区域构造划分及其特征

塔里木盆地是一个长期发展的大型叠合盆地, 在漫长的地史演化中, 经历了数次比较大的变革。利用航磁异常计算的结晶基底埋藏深度, 从另一个方面提供了盆地东北部现今存在的总沉积厚度及分布特点(图3), 同时也提供了盖层内晚期岩浆岩分布和埋深。

依据磁场特征、结晶基底起伏形态, 将盆地东北部及周边划分为2个一级构造, 10个二级构造, 21个三级构造(图4)。主要构造特征简述如下:

1. 库车山前坳陷(I₄)

位于盆地北部边缘, 呈NEE狭长带状展布, 是天山褶皱回返后山前地带形成的狭长箕状坳陷。基底由中下元古界弱磁性浅变质岩构成, 深度在8.0—10.0 km之间, 具有从南向北倾伏加深的特点。坳陷南北两侧均以断裂与相邻构造为界。

关于该坳陷的性质, 前人多认为是中、新生代坳陷, 因为那里有6000—7000 m厚的中、新生代地层存在。但是否有古生界存在, 目前认识尚不统一。依据航磁成果并综合其他资料, 笔者认为, 本坳陷北部基岩较深地带, 可能有1500—2500 m左右的古生界存在, 并主要以上古生界为主, 理由是:

其一, 航磁计算基岩深度为8—10 km, 地震确定的中、新生界最大厚度为6—8 km, 大地电磁确定的厚度也为6—8 km。显而易见, 尚有2—3 km的厚度余额, 即使去掉500 m厚的

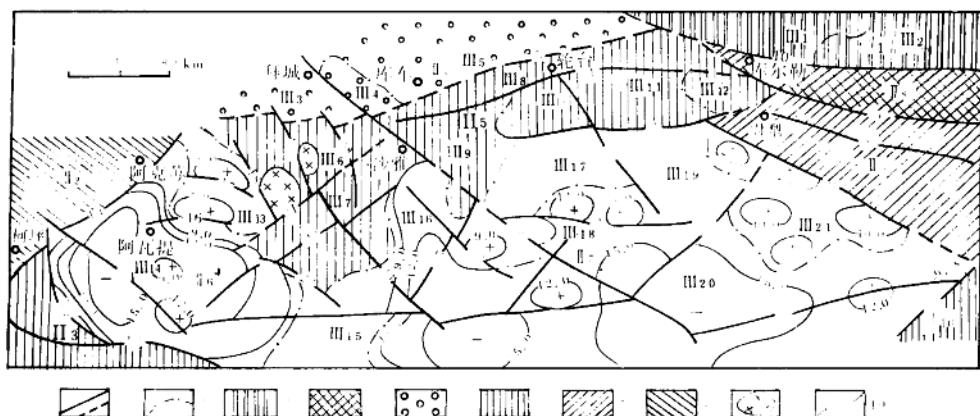


图4 塔东北地区区域构造略图

Fig. 4 Sketch map showing regional tectonics in Northeastern Tarim

1—断裂及推测断裂, 2—构造分区界线, 3—海西褶皱带, 4—前寒武系结晶基岩组成的隆起, 5—由中生界充填的山前坳陷, 6—前震旦系结晶基岩组成的潜伏隆起, 7—结晶基岩斜坡, 8—中下元古界及古生界隆起, 9—海西期中基性岩体, 10—磁性基底等深线及数值;

构造名称: I₁—天山褶皱带, I₁—克孜勒塔格构造带, I₁—焉耆凹陷, I₂—破城子凸起, I₂—塔里木地块, I₂—柯坪褶皱隆起, I₃—巴楚隆起, I₄—库车山前坳陷, I₅—拜城凹陷, I₆—拜城东凸起, I₅—轮台北凹陷, I₅—塔北隆起, I₆—柯吐尔凸起, I₇—柯南低凸起, I₈—新和-轮台高凸起带, I₉—波斯坦低凸起, I₁₀—阿克库木凸起, I₁₁—草湖凸起, I₁₂—库勒勒南鼻状凸起, I₆—阿瓦提断陷, I₁₃—马滩凸起, I₁₄—阿瓦提凹陷, I₇—满加尔坳陷, I₁₅—阿满鞍部构造, I₁₆—沙雅南凹陷, I₁₇—沙克尔凹陷, I₁₈—卡拉齐良凸起带, I₁₉—马卡特凹陷, I₂₀—塔中凹陷, I₂₁—塔里木河南凸起区, I₈—库鲁克塔格断块隆起, I₉—孔雀河斜坡, I₁₀—东南断阶;

主要断裂名称: 1—塔中深大断裂, 3—草湖南断裂, 4—轮台断裂, 5—新和断裂, 6—塔里木河断裂, 8—孔雀河断裂, 9—库鲁克塔格南断裂, 10—辛格勒断裂, 12—图木休克断裂, 13—阿恰断裂, 14—沙井子断裂, 21—柯南一号断裂, 22—柯南二号断裂, 28—跃进一号断裂, 30—塔东二号断裂

若考虑引起波斯坦、阿克库木、草湖等升高异常的地质因素及塔北隆起上东西向断裂的形成时间, 推测塔里木运动末期, 塔北隆起的东段就已粗具雏形。加里东运动只是在此基础上进一步发展, 并向西有所扩展而已。而新和-轮台高凸起带则可能是在后期南北挤压作用下形成的推覆构造带。

3. 阿瓦提断陷 (I₁₄) 与满加尔坳陷 (I₇)

它们是同一个大型沉积坳陷区内的两个不同沉积中心, 二者在形成和发展过程中既有相同点, 也有不同点。它们磁场特征相同, 表明在基底结构、基岩磁性上基本一致, 深度均在 12 km 以下, 最深处都达 15 km 以下。二者都具有断陷特征, 但断陷的形成与发展时代不同。阿瓦提断陷发生在海西早期, 沉积了巨厚的石炭系和下二叠统; 满加尔坳陷南部曾是中央箕状裂谷的一部分, 形成发展在上元古代青白口纪、震旦纪—早寒武世。

沉积差异较大, 满加尔坳陷主要为早古生代 (尤其是中奥陶世—泥盆纪) 坳陷, 下古生界及泥盆系厚度 7000—8000 m 左右, 构成了深水台盆。阿瓦提断陷虽然也有近 3000 m 厚的下古生界, 但它不是坳陷沉积中心, 沉积厚度与满加尔坳陷相差悬殊。海西运动强烈的改建

作用,使沉积中心自东向西迁移,并导致阿瓦提断陷形成,石炭系、上二叠统及上第三系康村组三套主要沉积岩厚逾 5000 m。

4. 跃进一号凸起存在与否

该凸起是由重磁力高异常确定的,但凸起处的北西向重磁力异常都具有宽缓特征,这种特征往往表明异常源埋藏较深。实际上重磁计算的深度均在 10—12 km 左右^[2]。在航磁垂向一次导数图上,叠加在该异常上的局部异常,在展布、连续变化及异常特征等方面都存在一定差异。重力垂向二次导数的结果也表明局部重力高呈近东西向展布。经对重磁异常及盆地东北部构造格架等因素的分析,认为该凸起不一定存在,而重磁力较宽缓升高异常的出现,很可能是基底内一个具高密度、强磁性的岩块所造成的。而其西北端呈东西向伸展的局部叠加异常,才是基岩凸起的反映,即卡拉齐良凸起带西段。更充分的理由是,穿过该异常的地震大剖面未发现构造存在。

四、火山岩分布规律及其范围预测

塔东北地区的火山岩分布与断裂发育密切相关,特别是海西末期形成或活动的断裂,对火成岩的分布起到了相当大的控制作用,尤其是北西向断裂。海西末期强烈活动的断裂附近,火山岩分布范围及厚度都较其他地方要大。

除此而外,火山岩的分布还与区域构造的形成发展有关。海西构造运动改造过的地区,火成岩十分发育,分布亦较广泛。其他区域则相对不甚发育,甚至有部分地区不存在二叠系火成岩。

塔东北火山岩的分布大致可分成四个不同的区域。

第一个区域为东经 83°以西的巴楚、柯坪、阿克苏和阿瓦提等地,二叠系中基性喷发岩及顺层侵入体十分发育,分布广泛。磁场面貌以线性异常带和变化不规则的跳跃性异常为特征,前者与断裂相关,后者则是火山岩埋藏较浅呈面积性分布的反映。据航磁资料推测,除个别古生界构造顶部外,这一地区普遍有二叠系中基性喷发岩存在。

第二个区域位于塔北隆起之南,东经 83°和塔东二号断裂之间,即满加尔坳陷西部。据微弱磁异常及沙 10 和满西 1 井已见到二叠系火山岩的事实推断,这一区域内也有二叠系火山岩存在,但在厚度和发育程度上已远不及上区那样广泛。

第三个区域位于塔东二号断裂之东、孔雀河断裂以南。据目前所掌握的资料分析,可能是一个没有二叠系火山岩存在的地区。

第四个区域是库尔勒之东,孔雀河断裂以北的广大地区,这里主要是侵入岩发育的地带。除已出露的岩体外,多数强度、规模不等的三度体异常都是不同时期花岗岩、闪长岩、辉长岩及花岗岩(γ_2)的反映。

塔东北地区火山岩十分发育,在阿瓦提断陷、柯北、柯南凸起及满加尔坳陷西部,都有不同厚度的火山岩存在。这些火山岩一般裂缝发育,有的尚有气孔存在,因而具有较好的储集条件。尤其是后期的断裂活动,可使这些质坚性脆的火山岩裂缝更为发育,并具有一定的沟通性,从而可能成为较好的储集空间。

刘树晖等认为,塔北有过两次生油,即海相末期以前的第一次生油和新生代第二次生油。这一研究成果为海西期火山岩储油提供了依据,可能成为第二次生油的良好储层。

五、航磁局部构造异常的类型及其分布特征

应用垂向一次导数图确定出 8 个区带 104 个航磁局部构造异常。主要是结晶基底凸起、古生界构造、中、新生界构造及各类火山岩引起的。这些异常多呈条带状展布，并与二级构造带延伸方向一致，表明局部异常所反映的构造及火山岩是在断裂和二级构造带的控制下形成和发展的。

塔东北地区局部构造异常的分布在不同地区特征有异，大致可分为三种情况：

1. 在库车山前地带，多数与中、新生界构造有关。局部异常形态以窄长形为主，长轴展布方向基本与库车山前拗陷的延伸方向一致，说明异常反映的中、新生界构造及第四系砂砾岩与区域构造的形成演化密切相关。

2. 在东经 83° 以东，反映结晶基岩凸起的局部异常，形态多呈圆形或椭圆形。发育在二级正向构造带之上的局部异常亦成条成带展布，延伸方向与二级构造带一致，如沙雅-草湖异常带和满加尔异常带分别与塔北隆起和卡拉齐良凸起带相对应。而分布在凹陷内的局部异常，则排列方向并不十分明显。显然，二级正向构造带对呈条带状展布的基岩凸起的形成发展有较大控制作用，同时也表明后期构造运动影响不大。

3. 在东经 83° 之西，不但异常形态发生了变化，多数呈二度或似二度异常出现，而且展布方向也多样化了。它们虽以北西向为主，但北东向和近东西向异常也时有出现，特别是在柯南低凸起之上，三组方向的局部异常带互相交叉，互相穿插。这种现象说明，不同时代的断裂对局部异常的展布起了相当重要的作用，这也是海西运动对该地区改造的结果。

应当指出，塔里木盆地自基底固结之后，又经历了多次构造运动。因此，一些基岩凸起上的继承性构造，由于历次构造运动的方向、性质及活动形式都不尽相同，尤其是后期的挤压性构造运动，会使上下构造层出现脱顶走滑，从而造成在平面上不同时代的构造位置不重叠。王汉生^[3]和谢晓安^[4]提供的地震剖面反映的局部构造表明，盆地内许多构造或多或少都有这种现象存在。如南喀拉玉尔滚背斜，它的新生界构造层、中生界构造层和古潜山构造，构造高点都不十分重合，各时期构造都有不同的走滑现象存在。因此，研究上下构造的关系，对于在塔里木盆地寻找不同时代的油气藏有着十分重要的意义。

本研究是在张用夏高级工程师指导下完成的。参加工作的尚有胡先金、罗锦荣、贾玉兰、范江、王广生、任瑞等同志。

参 考 文 献

- [1] 朱 英, 地球物理学报, 1987, 32 (4).
- [2] 张用夏等, 地球物理学报, 1982, 25 (3).
- [3] 王汉生, 新疆石油地质, 1986, 7 (3).
- [4] 谢晓安, 新疆石油地质, 1985, 7 (2).

CHARACTERISTICS OF MAGNETIC FIELDS AND GEOLOGICAL STRUCTURES IN NORTHEASTERN TARIM

Qiao Rixin

(Center of Aerogeophysical Exploration and Remote Sensing, MGMR, Beijing)

Abstract

According to the information of aeromagnetic survey covering 5 areas made in the past, the geological texture of Northeastern Tarim Region is studied in this paper. The relation between magnetic field characters and three different regional magnetic fields which are the reflection of different basement rock facies are discussed. It is considered that there are three different regional magnetic fields which are the reflection of different basement rock facies structures. Then some new opinions on the property of Kuqa piedmont depression, the formation and development of North Tarim Uplift, the relation between Awati fault-depression and Mangar Depression, the existence of Yuejin-1 Uplift were proposed based on the characters of magnetic fields. Finally, the distribution regularity and range of igneous rocks and the importance of the rocks in hydrocarbon exploration were discussed.

高精度重力测量在油气勘探中的应用

侯卫国 刘森严

(西北石油地质局第一物探大队, 新疆米泉)

本文介绍了塔东北地区高精度重力测量的野外工作方法。从理论模型出发,研究了高精度重力对不同规模、不同空间位置的断裂、构造及油气的勘探能力,并对3条实测的高精度重力剖面进行了分析、解释。指出利用高精度重力资料,通过 V_{max} 及 $G^H(x, z)$ 等方法处理,在该区寻找小断裂、小构造及直接寻找油气所引起的重力(低)信息是可行的。

为了研究塔东北地区高精度重力异常的特征及其与小构造及油气藏的关系,地矿部西北石油地质局第一物探大队重力队根据“75-54-03-05-01”专题研究的要求,分别在雅克拉、沙雅西、阿克库木3个地区完成了9条高精度重力剖面,共4260个物理点,504剖面公里。其中除5、7、8线为200 m点距外,其余为100 m点距。重力测量所用仪器为美国拉柯斯特D型重力仪。大地测量采用红外线测距仪定位,精度为 ± 10 m;水准仪定高程,精度为 ± 0.2 m。为提高近区地形改正精度,采用平板仪测简化地形图,用大秤、水桶测地表沙、石、土密度。近区(0—200 m)地形改正用量板人工计算,中区(200—2000 m)、远区(2000—20000 m)地形改正正在计算机上进行,中、远区地改所用节点高程为1:5万地形图上读取。重力观测精度为 $\pm 0.021 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,重力异常总精度高于 $\pm 0.05 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,达到了设计要求(观测精度为 $0.03 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、总精度为 $\pm 0.06 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)。各条剖面的精度见表1。

表1 高精重力剖面精度统计表

Table 1 Statistics of accuracy of high-precision gravity survey profile

地区	线号	长度 (km)	物理点 (个)	点距 (m)	观测精度 ($\pm 10^{-5} \text{ m/s}^2$)	总精度 ($\pm 10^{-5} \text{ m/s}^2$)
雅克拉	GJ-87-1	49.7	498	100	0.013	0.045
	GJ-87-2	62.0	521	100	0.020	0.048
	GJ-87-3	47.8	479	100	0.011	0.045
	GJ-87-4	40.0	401	100	0.020	0.048
沙雅西	GJ-88-5	74.4	370	200	0.017	0.047
	GJ-88-6	50.6	507	100	0.016	0.047
	GJ-88-7	51.2	257	200	0.011	0.045
阿克库木	GJ-88-8	77.4	388	200	0.021	0.048
	GJ-88-9	51.3	514	100	0.021	0.048

一、高精度重力勘探能力——理论模型的重力效应

由密度资料* 可知, 该区主要密度界面如下:

- (1) 基底与上覆古生界之间, 密度差为 $0.05-0.13 \text{ g/cm}^3$;
- (2) 寒武-奥陶系顶面与上覆志留系之间, 密度差为 $0.06-0.1 \text{ g/cm}^3$;
- (3) 前中生界顶侵蚀面与上覆地层之间, 密度差为 $0.04-0.3 \text{ g/cm}^3$;
- (4) 下第三系与上第三系之间, 密度差为 $0.08-0.16 \text{ g/cm}^3$;
- (5) 上第三系与第四系之间, 密度差为 $0.1-0.36 \text{ g/cm}^3$ 。

古生界与基底的起伏是引起塔东北地区局部重力异常的主要地质因素, 它们与上覆地层之间的等效密度差为 $0.1-0.3 \text{ g/cm}^3$ 以上。

以上述密度资料为基础, 以重力异常总精度的 2 倍 ($\pm 0.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$) 为可靠的异常信息, 从理论模型出发, 来了解重力异常在这一精度内对地下断裂、构造及油气的勘探能力。

(一) 反映断裂的能力

一般断裂的走向长度是远远大于其断距的, 所以可以近似地把它看成二维的台阶进行研究。根据垂直台阶重力异常正演公式:

$$\Delta g = G\sigma \left[x \ln \frac{H^2 + x^2}{h^2 + x^2} + \pi (H - h) + 2H \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{H} - 2h \operatorname{tg}^{-1} \frac{x}{h} \right].$$

可知, 当 $x = \infty$ 时, $\Delta g = \Delta g_{\max} = 2\pi G\sigma (H - h) \approx 0.419\sigma (H - h)$, 也就是说断裂所引起的重力异常极值与它的埋深 (h) 无关, 而只与断距 ($H - h$) 和密度差 σ 有关。当 $\sigma = 0.25 \text{ g/cm}^3$, $H - h = 10 \text{ m}$ 时, 即可引起大于 $0.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的重力异常。当然并不是当 $\sigma = 0.25 \text{ g/cm}^3$ 、断距为 10 m 的断裂在任何埋深用高精度重力都可以发现。因为随着断裂埋深的增大, 重力异常的梯度逐渐变小。在一定的深度以下将与其它地质因素所引起的异常梯度接近, 使我们无法识别断裂所引起的重力信息。

垂直台阶的重力水平梯度极值表达式为:

$$V_{xx} = 2G\sigma \ln \frac{H}{h}.$$

要使 V_{xx} 值保持不变, 就要使 H 与 h 以同一比例增减。根据本区的具体地质情况, 假设一个背斜的顶面埋深为 5000 m , 隆起幅度为 500 m , 纵横宽为 $30 \times 30 \text{ km}$, 与围岩的密度差为 0.25 g/cm^3 , 所引起的异常其水平梯度最大约为 $1.5 \times 10^{-9} \text{ Gal/cm}^{**}$ 。所以我们可以以水平梯度为 $2 \times 10^{-9} \text{ Gal/cm}$ 以上的异常为识别断裂的基本参数。由上式可知, 当 $\sigma = 0.25 \text{ g/cm}^3$ 、 $V_{xx} = 2 \times 10^{-9} \text{ Gal/cm}$ 时, $\frac{H}{h} = 1.062$, 由此我们可以得到一系列垂直断裂的顶面埋深与断距的数据 (表 2)。

上表是为高精度重力在该地区寻找垂直断裂所必需的。对于有一定倾角的断裂, 只有当断距更大时才能在异常上得到较清楚的反映, 对于倾角很小断裂, 在重力剖面上是很难发现的。

* 75-54-03-05-01 专题附件《塔里木盆地东北地区岩石密度工作小结》, 1989。

** $1 \text{ Gal} = 0.01 \text{ m/s}^2$ 。

表 2 垂直断裂顶面埋深与断距数据表

Table 2 Data on the burial depth of the top of vertical fault and fault displacement

埋深 (m)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
断距 (m)	62	124	186	248	310	372	434
备 注	$\sigma = 0.25\text{g/cm}^3$, $V_m = 2 \times 10^{-8}\text{Gal/cm}$						

即使满足了表 2 的条件,也很难直接在布格异常剖面图上识别断裂信息,我们必须对重力剖面进行数据处理,突出断裂引起的异常信息。

(二) 反映构造的能力

表 3 是根据高精度重力异常可靠信息的最低要求,结合本区的密度情况所设计的不同隆起幅度、不同面积、不同顶面埋深的三度体构造模型的重力正演结果。该区的局部构造顶面埋深多在 5000 m 左右。在这一深度,如果密度差为 0.12g/cm^3 ,可以寻找到幅度为 100 m、面积为 80 km^2 左右的局部构造;如果密度差为 0.25g/cm^3 ,可以寻找到幅度为 100 m 面积为 30 km^2 左右的局部构造。这一结论对于本区具有重要的实际意义。

表 3 不同深度、不同规模构造模型的重力正演结果

Table 3 Forward results of gravity of structural models in different depths and sizes

密度差 (g/cm^3)	构造幅度 (m)	深 度 (m)	构造面积 (km^2)	最大异常值 (10^{-6}m/s^2)
0.12	100	1000	3.14	0.117
0.12	100	2000	12.56	0.113
0.12	100	3000	28.27	0.112
0.12	100	4000	50.26	0.102
0.12	100	5000	78.54	0.11
0.25	100	1000	1.54	0.161
0.25	100	4000	19.63	0.105
0.25	100	5000	28.27	0.106
0.25	100	6000	50.26	0.114
0.25	100	7000	63.62	0.113
0.25	100	8000	78.54	0.113
0.25	200	5000	12.56	0.105
0.25	200	6000	28.27	0.137
0.25	200	7000	38.48	0.130
0.25	200	8000	50.27	10.140
0.25	200	9000	63.62	0.139
0.25	200	10000	78.54	0.125

随着构造埋深的增大,所引起的局部重力异常越趋平缓,为了解决深部构造引起的异常不明显这个问题,可用 V_m 、归一化总梯度等方法来处理以突出局部构造产生的重力信息。由图 1 可见,假设构造埋深为 5000 m,隆起幅度为 100 m,面积为 30 km^2 ,与围岩的密度差为

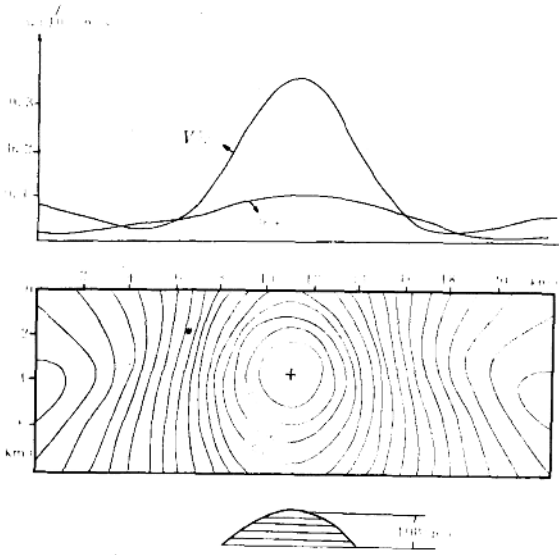


图 1 构造模型正演结果

Fig. 1 Forward results of structural models

0.25g/cm^3 , 所引起的 Δg 曲线变化相当平缓, 而其 $V_{\text{总}}$ 曲线可以大致圈定构造范围, 归一化总梯度 $G^H(x, z)$ 可以大致确定构造的埋深。

(三) 反映油气的能力

利用重力直接找油气现在仍处于研究阶段。国内外都在某些已知油气田作过一些研究。在美国的南加利福尼亚和苏联阿塞拜疆南吉斯坦的一些已知油气田, 观测到了范围不大的相对重力低异常, 其幅值在 $1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 以下 (表 4)。这些异常说明, 有生产价值的储油气层的密度比周围的地层要低。

储集层孔隙中碳氢化合物的密度比水低很多, 据此可以认为大多数储油气层会引起重力低效应, 不过其幅值可能不大, 在许多情况下会被其它异常所掩盖。

表 4 一些油气田上方重力低异常统计表

Table 4 Statistics of low gravity anomalies over some oil and gas fields

油气田名称	产层厚度 (m)	油气藏特点	油气藏等效密度 (g/cm^3)	计算重力异常 (10^{-5}m/s^2)
什彼林	220	气	0.87	1.2
北斯达伏罗波尔	90—135	气	0.16	1.5
乌里茨	80	气	0.11—0.1	0.14、0.35
东苏斯洛夫	30	气	0.18	0.16
彼尔伏玛依	18	气	0.2	0.1
斯捷彼诺	54	气	0.12	0.28
加什林	270	气	0.15	1.5—2.0
德米特洛	84	油	0.05—0.08	0.1
什顿巴伊	200	油	0.05—0.08	0.68
阿耶斯达西	100	油、气	0.15—0.2	0.3

用重力法直接找油的效果取决于下列因素: 油气储集层与围岩的密度差、油气储集层的深度及空间分布、实测重力精度等。其中与密度差有关的因素最为复杂, 它与储集层的总孔隙度、石油的比重、气油比、温度、压力诸因素有关。找出密度差与上述各因素的关系是一项很复杂的工作, 有关这方面详尽而准确的资料, 我们得到的很少。美国人 T. H. 麦卡拉赫做了大量而富有成效的研究, 图 2、图 3 是摘自他的研究成果^[1]。我们在设计本区油气藏模型时,