

塔里木盆地居里等温面特征及其地质意义

李庆春*

许炳如

(西安工程学院应用地球物理研究所) (西安石油学院开发系)

摘要

李庆春,许炳如. 塔里木盆地居里等温面特征及其地质意义. 石油地球物理勘探, 1999, 34(5): 590~594

本文讨论了用磁场矩谱法及改进的 Parker-Oldenburg 方法计算磁性体下界面埋深的具体步骤。利用矩谱法的计算结果作为 Parker-Oldenburg 方法的约束模型, 计算了塔里木盆地居里等温面(磁性下界面)深度。其特征为居里点等深线梯度所反映的深断裂将盆地深部分隔为2个居里面隆起区(带)和3个凹陷区(带), 这些隆起区或凹陷区都同盖层区域构造有同像或反像关系。

主题词 塔里木盆地 磁场矩谱 迭代反演 居里等温面 深断裂 隆起带 凹陷带

ABSTRACT

Li Qingchun and Xu Bingru. The characteristic and geological meaning of Curie isothermic surface under the Tarim basin. OGP, 1999, 34(5): 590~594

Authors describe the procedure of estimating the underneath depth of a magnetic body by using both magnetic field moment spectrum method and improved Parker-Oldenburg method. The depth of Curie isothermic surface (underneath depth of magnetic body) under the Tarim basin is obtained by taking the result of moment spectrum method as a restrictive model of Parker-Oldenburg method. As a result, deep faults reflected by gradient of Curie depth contour divide the deep part of the basin into two areas where Curie surface uplifts and other three areas under which Curie surface subsides. Relatively to the tectonics in above overburden, there exist homomorphous and anti-homomorphous tectonic structures in the uplifted areas and subsidence areas respectively.

Subject heading: Tarim basin, magnetic field moment spectrum, iterative inversion, Curie isothermic surface, deep fault, uplifted area, subsided area

区域地质及地层磁性特征

塔里木盆地北邻天山, 南接昆仑山与阿尔金山, 总面积约56万km²。在盆地内部及周边山系上太古界至第四系地层均有分布。上太古界地层主要由片麻岩、变粒岩、混合岩以及少量斜长角闪岩组成^[1]。元古界地层包括石英岩、石英片岩、云母片岩、大理岩、含镁质较高的碳酸盐岩和一套绿片岩以及浅海相碎屑岩和富含叠层石礁体的浅海相碳酸盐岩。其中震旦系是一套

* Li Qingchun, No. 6 Yanta Street, Xi'an City, Shaanxi Province, 710000

本文于1998年11月23日收到。

以碎屑岩为主的含火山岩和冰成岩的沉积建造,并且多个层位具有浊流沉积特征,碎屑岩的化学成分表明该套地层为活动大陆边缘盆地沉积^[1]。古生界地层在盆地内及周边山区均有分布,寒武系、奥陶系为浅海—滨海碳酸盐岩—碎屑岩建造;志留系下统为浅海相碎屑岩建造;泥盆系上统以零星分布陆相和浅海—海陆交互相两种沉积类型、碎屑岩沉积建造为主;石炭系是古生界出露区分布最广的地层,以岩相建造类型复杂、火山岩发育、构造变动频繁为显著特征;二叠系下统以滨海、海陆交互相火山碎屑岩、碎屑岩及陆相火山岩为主,上统以陆相碎屑岩为主,局部地区夹火山碎屑岩。中生界以陆相地层为主,塔里木盆地西南缘具海相地层,岩相以碎屑岩或碳酸盐岩建造为主,局部夹少量中基性火山岩。新生界地层广泛分布于塔里木盆地。下第三系以海相沉积为主;上第三系以陆相沉积为主,属碎屑岩夹碳酸盐岩建造。第四系为湖相、洪积相沉积的砂岩、砂砾岩及黄土状亚砂土、亚黏土等。

塔里木盆地是一个地台与盆地相叠置的复合型盆地。主要表现为3种区域构造类型:中—新生代山前褶皱的箕状拗陷型、以古生代地台为主的隆拗型及地台边缘海西期以来的断隆型,这3种区域构造类型组合成塔里木盆地及地台边缘的7个基本构造单元。

塔里木盆地周边天山、昆仑山以及盆地边缘阿尔金山、库鲁克塔格、柯坪和铁克里克山区广泛出露各种侵入岩。元古、加里东、海西、印支、燕山和喜山6个时期均有岩浆侵入活动,岩浆岩发育状况受各期构造运动的影响,其中以海西期侵入岩分布最广。

根据塔里木盆地野外岩石露头和钻井岩心磁化率的测定,盆地中有4个磁性层。第一个磁性层为震旦系结晶基岩。上太古界深变质的片麻岩、变粒岩、混合岩类的磁化率平均值为 $(800\sim 1000)\times 10^{-5}$ SI;下元古界中—深变质的片岩系,磁化率平均值为 $(50\sim 100)\times 10^{-5}$ SI;中上元古界浅变质岩可认为无磁性。第二个磁性层为震旦系地层,该层磁性较弱,磁化率值约为 100×10^{-5} SI,局部夹有少量磁性较强、磁化率可达 4500×10^{-5} SI的辉绿岩、玄武岩、粗玄岩、橄榄岩等中基性火成岩。第三个磁性层为二叠系玄武岩,其磁性变化较大,磁化率达 $(1000\sim 10000)\times 10^{-5}$ SI。第四个磁性层为上第三系阿图什组上部砂岩,厚度大、埋藏浅,其岩性为砂岩与泥岩互层,砂岩的磁化率为 $(60\sim 130)\times 10^{-5}$ SI。火成岩侵入体中镁铁、超镁铁岩多为强磁性,磁化率为 $(2000\sim 7000)\times 10^{-5}$ SI;中酸性侵入岩以花岗岩和闪长岩为主,磁性变化较大,磁化率在 $(0\sim 4900)\times 10^{-5}$ SI之间。

航磁异常特征分析

图1为塔里木盆地航磁异常图。根据磁异常的符号、强度、规模、走向、水平变化和形态分布等一系列组合特点,可将盆地内磁异常分为6个区带,它们是塔北广阔平缓负磁场区、塔中纬向高值正异常带、巴楚变化剧烈磁异常区、塔西南宽缓高值正负相间磁异常带、塔东南正负变化磁异常带及塔里木东缘磁场区。

塔北广阔平缓负磁场区位于塔中纬向磁力高以北、天山以南,东接库鲁克塔格变化磁异常区,西边延伸至国境线。磁场特征以广阔平缓的负磁场为背景,强度一般在 $-80\sim -200$ nT。在主要反映深部特征、波长大于100km的低通滤波磁场图上,该负磁场区仍有反映,说明磁异常源向下延深很大,可达到居里面。

塔中纬向高值正异常带的异常轴向呈东西方向展布,东起阿拉干,向西有间断,在巴楚正负磁场剧变区受干扰而无法分清;再向西轴向南移到岳普湖—喀什近东西向磁力高(向南移动了45km),它是由数个规模大、强度高的磁力高组成,异常强度达 $200\sim 500$ nT;在如图2所示

物理勘探

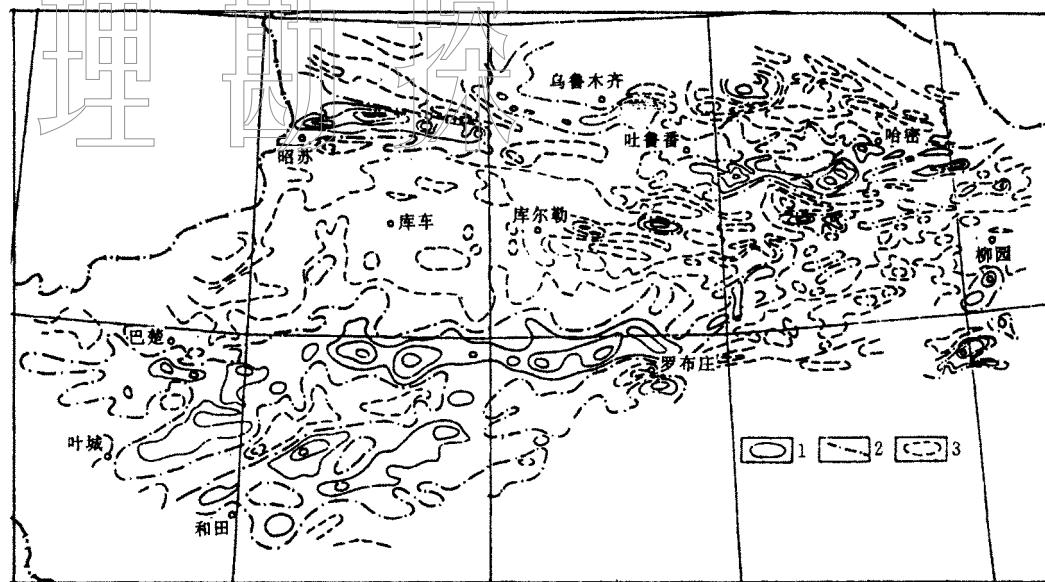


图1 天山与塔里木盆地航磁异常图

图中1为正异常;2为零等值线;3为负异常

的新疆地区卫星磁场图(卫星飞行高度距地面404km)上仍表现为宽缓高值异常,表明磁源埋深大、体积大、磁性强。经剖面拟合推测,该纬向磁力高带可能是由于早元古代南北两侧纬向深大断裂的断陷、拉张、超地壳物质上涌,沿轴部基性、超基性岩浆侵入形成的基性、超基性岩墙^[2]所引起。

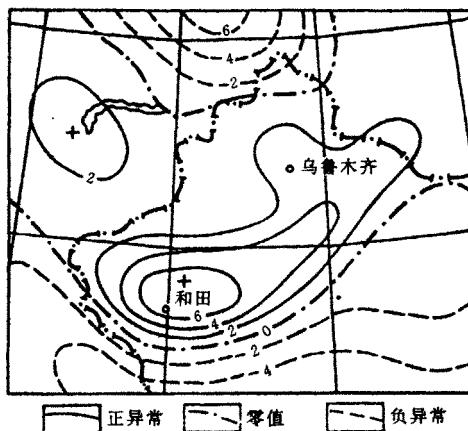


图2 新疆地区卫星磁场图

等值线单位:nT

若已知物质体的顶面埋深,则可进一步求得下界面(居里等温面)的埋深。但该方法在实际计算时自动化程度不高,即每次根据选定的“异常”只能计算该“剩余物质体”的质心坐标,对大面积计算处理则很不灵活方便。国外曾报道利用 Parker-Oldenburg 方法^[4]计算加拿大地盾居里面埋深,但这一方法受磁性界面参考深度影响很大,需要引入约束条件才会有可靠的结果。为此,在进行塔里木盆地资料解释时,我们用矩谱法计算出的下界面埋深作为约束条件,应用改进的 Parker-Oldenburg 方法^[5]再计算全区居里面深度。

巴楚变化剧烈磁异常区位于盆地中、西部。西起柯坪断裂,东以和田河东约60km的南北向大断裂为界,西南和南部以皮羌—牙桑地—玛扎塔格断裂带为界,东北以阿恰—吐木休克断裂为界。本区磁场变化剧烈而紧密,异常强度为-1600~500nT,以窄小尖峰的局部异常群为特征;断裂附近的异常分布受断裂控制;磁异常上延20km后消失,说明异常源埋藏较浅(在结晶基岩之上的盖层内部,埋深一般2~3km)。

居里面深度的计算方法

居里等温面的计算,常用磁场矩谱法^[3],利用位场谱和矩谱可以求得磁性剩余物质体的质心坐标,

矩谱法计算居里面(磁性下界面)的基本步骤

(1) 对 ΔT 进行化极处理并求化极后磁场的矩谱 S_{\perp} 以及 x, y 方向的一阶矩谱 $R_x^{(1)}, R_y^{(1)}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\perp}(u, v) = \mu_0 J / (2uv) \exp[-wh - i(\xi u + \eta v)]|_a \\ R_x^{(1)}(u, v) = \mu_0 J / (2v) (\xi/u - ih/\omega - i/\omega^2) \exp[-wh - i(\xi u + \eta v)]|_a \\ R_y^{(1)}(u, v) = \mu_0 J / (2u) (\eta/v - ih/\omega - i/\omega^2) \exp[-wh - i(\xi u + \eta v)]|_a \end{array} \right. \quad (1)$$

其中: J 为磁化强度; Ω 为磁性体体积; u, v 分别为 x, y 方向的角频率; ω 为径向角频率; (ξ, η, h) 为磁性体积分变量; μ_0 是空气磁导率。

(2) 求磁场的零阶和一阶矩谱之比

$$\left\{ \begin{array}{l} R_x^{(1)}(u, v) / S_{\perp}(u, v) = \xi_0 - iuh_0^*/\omega + iu/\omega^2 \\ R_y^{(1)}(u, v) / S_{\perp}(u, v) = \eta_0 - ivh_0^*/\omega + iv/\omega^2 \end{array} \right. \quad (2)$$

这里 (ξ_0, η_0, h_0) 为磁性体质心坐标; h_0^* 是由矩谱法求得的质心深度, h_0^* 与 h_0 很近似。

(3) 求磁性体下界面埋深 h_2

$$h_2 = 2h_0^* - h_1 \quad (3)$$

式中 h_1 为磁性体的上界面埋深, 在塔里木盆地, 它表示磁性体基岩深度。

改进的 Parker-Olderburg 法计算磁性体下界面的基本步骤

(1) 磁性层磁场的正演模型如图 3 所示。

I、II 为磁性层上下界面, 其埋深分别为 h_1, h_2 , J 为磁化强度, \bar{H} 为参考深度, 且 $H_1 = \bar{H} - h_1, H_2 = \bar{H} - h_2$, 则在 xoy 平面上有磁异常正演公式

$$\begin{aligned} F[\Delta T] &= 2\pi J \Phi(u, v) \exp(-\omega z_0) \\ &\times \sum_{n=1}^{\infty} F[H_1^n - H_2^n] \end{aligned} \quad (4)$$

(2) 磁性下界面的迭代反演计算。由式(4)可导出求解 H_2 的反演迭代公式

$$H_{2(i)} = F^{-1} \left[\sum_{n=1}^{\infty} F[H_1^n] - \exp(\omega z_0) F[\Delta T] / (2\pi J \Phi(u, v)) - \sum_{n=2}^{\infty} F[H_{2(i)}^n] \right] \quad (5)$$

这里: $\Phi(u, v) = (\gamma_0 \omega + i(u\alpha_0 + v\beta_0)) \cdot (\gamma_1 \omega + i(u\alpha_1 + v\beta_1)) / \omega^2$; $\omega = (u^2 + v^2)^{1/2}$; $F[\cdot]$ 和 $F^{-1}[\cdot]$ 分别表示正、反傅里叶变换; i 为迭代次数; $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ 为地磁场方向的方向余弦; $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ 为磁化方向的方向余弦。故磁性下界面埋深

$$h_2 = \bar{H} - H_2 \quad (6)$$

居里等温面特征及其地质意义

对于塔里木盆地 1:50 万及部分 1:20 万航磁资料, 首先将航磁 ΔT 异常进行高频滤波, 以去除因局部因素引起的干扰, 然后再去除大的背景场, 得到认为是“磁性层”引起的磁异常。由式(1)、式(2)及式(3)求下界面 h_2 的约束模型; 由式(5)、式(6)求反演区下界面(居里面)埋深(图 4)。其中上界面埋深 h_1 取自于本区磁性体基岩深度图^[2]。

由于计算居里面时的取数网格较密(1:20 万或 1:50 万), 计算出的居里面深度图与前

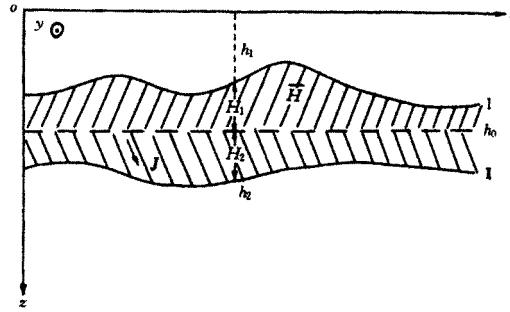


图 3 3D 双层磁性界面模型示意图

y 轴指向观测者

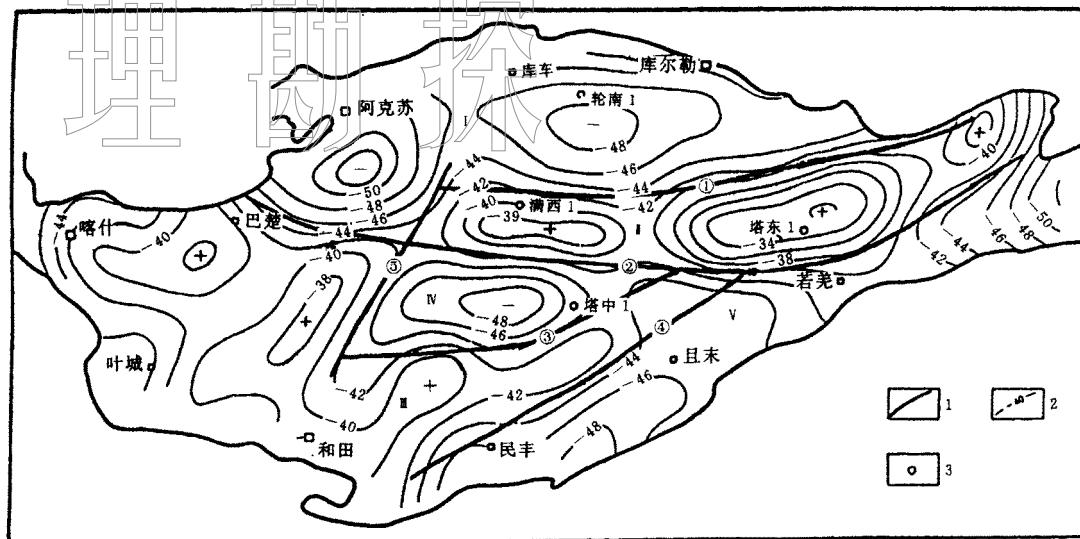


图4 塔里木盆地居里面深度图

图中：1——盆地边界；2——等值线；3——井位；①、②——塔中深断裂；
 ③、④——且末、罗布庄—屋亚深断裂；⑤——和田河深断裂

人^[6]有所不同。居里面深度变化较大(32~51km)。主要特征是居里点等深线梯度带所反映的深断裂将盆地深部划分为2个居里面隆起区(带)和3个凹陷区(带)，如图4所示。其中Ⅰ区(凹陷区)上部的盖层区域构造向西向东分别为阿瓦提凹陷、塔北隆起和孔雀河斜坡。Ⅱ区(隆起区)上部的盖层区域构造分别为满加尔凹陷和罗布泊断陷。Ⅲ区上部的盖层区域构造分别为喀什凹陷、巴楚隆起、叶城凹陷、和田凹陷、唐古孜巴斯拗陷和塔南隆起。Ⅴ区为东南拗陷。

结论

用磁场矩谱法计算居里等温面深度，因方法本身的局限，计算效率较低，难以适应像塔里木盆地这样大规模的实际资料处理；Parker-Oldenburg方法是在频率域—空间域交替进行的，可以快速处理大面积实际资料，但其精度受参考深度影响较大。本文将矩谱法的计算结果作为Parker-Oldenburg方法的约束模型进行迭代反演计算，求出了塔里木盆地居里面深度图。居里面与区域构造形态呈同像关系的有阿瓦提凹陷、巴楚隆起、塔南隆起和东南拗陷；呈反像关系的有塔北隆起、满加尔凹陷、罗布泊断陷、塔中低隆、塔西南拗陷的三个凹陷和唐古孜巴斯拗陷等。显然，隆起带中心的地温垂直梯度高于凹陷带中心；另一方面，以上关于深部的某些结论需结合盖层的各种地质条件，才能综合研究评价各个区域构造单元的含油气远景。

参 考 文 献

- 1 陆松年,高振家等.新疆北部前寒武系划分.新疆地质科学,第一辑,地质出版社,1990
- 2 许炳如.根据航磁解释塔里木盆地基岩分布.西安石油学院学报,1997,12(6)
- 3 潘作枢.位场资料处理及解释问题,地质出版社,1992
- 4 Oldenburg D W. The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, 1974, 39(4): 526~536
- 5 李庆春,潘作枢.复杂模型重力位场快速正反演方法及应用.西安地质学院学报,1990,12(4)
- 6 滕吉文主编.塔里木地球物理场与油气,科学出版社,1991

(本文编辑:冯杏芝)